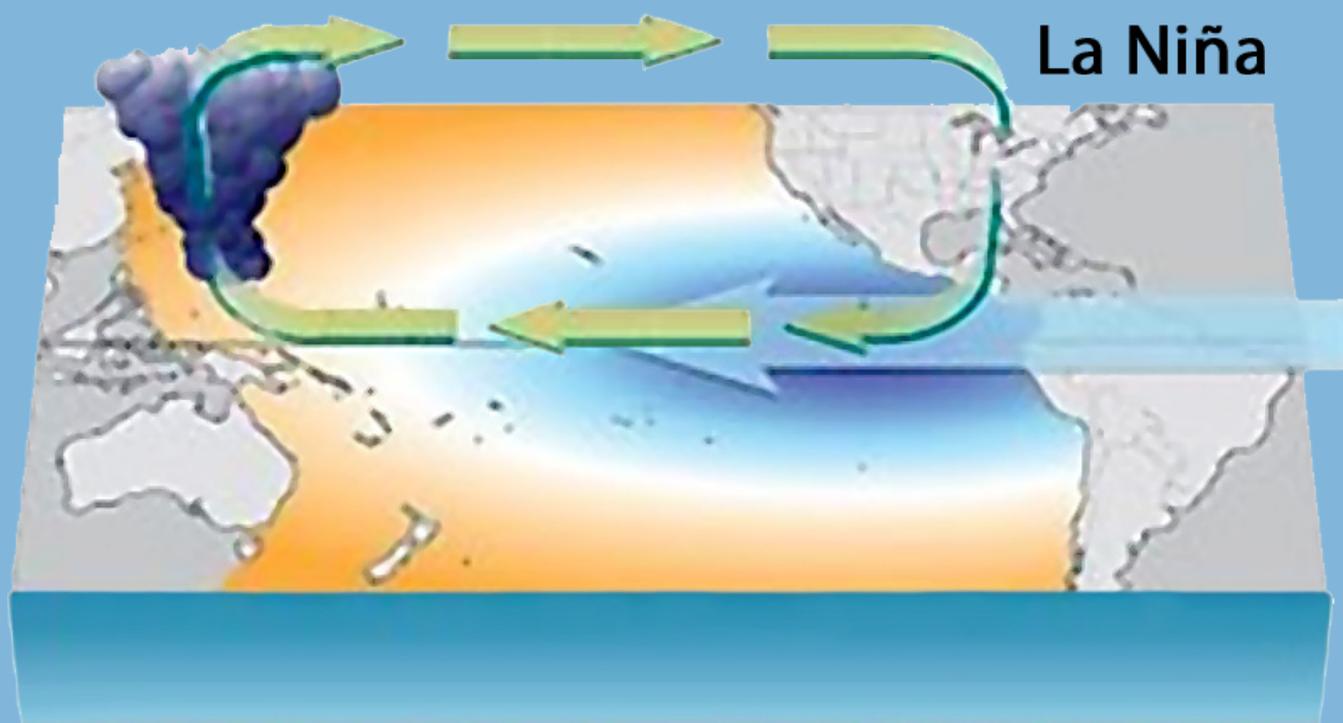


# MUTIS

REVISTA ELECTRÓNICA EDITADA POR LA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA



MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering, Jorge Tadeo Lozano University, is licensed under the Creative Commons 4.0: Attribution - Noncommercial - No Derivative Works



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA

# MUTIS

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano  
Dirección de Publicaciones  
Carrera 4 N° 23-76 Módulo 29, of. 203  
Piso 2, Bogotá D. C., Colombia  
Tel: (571) 242 7030 Exts. 3120-3132

ISSN: 2256-1498  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21789/issn.2256-1498>  
[revista.mutis@utadeo.edu.co](mailto:revista.mutis@utadeo.edu.co)

Rectora  
CECILIA MARÍA VÉLEZ WHITE

Vicerrectora Académica  
MARGARITA MARÍA PEÑA BORRERO

Vicerrectora Administrativa  
NOHEMY ARIAS OTERO

Director de Investigación, Creación y Extensión  
LEONARDO PINEDA SERNA

Decano de la Facultad de Ciencias Naturales  
e Ingeniería  
ISAAC DYNER REZONZEW

Director de Publicaciones  
DANIEL MAURICIO BLANCO BETANCOURT

Coordinador Editorial  
JUAN CARLOS GARCÍA SAENZ

Director de Arte y Diseño  
LUIS CARLOS CELIS CALDERÓN

Diagramación  
MARY LIDIA MOLINA BERNAL



MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering, Jorge Tadeo Lozano University, is licensed under the Creative Commons 4.0: Attribution - Noncommercial - No Derivative Works

*Mutis* es una publicación electrónica semestral de ciencia e investigación editada por la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Los artículos publicados son responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición editorial de *Mutis*.

Editores  
JAVIER HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ  
Ciencias Naturales  
CÉSAR DÍAZ  
Ingeniería

Comité Editorial  
ISAAC DYNER REZONZEW  
Universidad Jorge Tadeo Lozano  
MICHAEL J. AHRENS  
Universidad Jorge Tadeo Lozano  
LEONARDO MARIÑO RAMÍREZ  
NCBI - National Center for Biotechnology Information,  
Bethesda MD, EE. UU.  
MYRON SPECTOR  
Harvard University, EE. UU.

Comité Científico  
MÓNICA PUYANA HEGEDUS  
Universidad Jorge Tadeo Lozano  
ANDRÉS FELIPE SUÁREZ ESCOBAR  
Universidad Jorge Tadeo Lozano  
JOSÉ HERNEY RAMÍREZ  
Universidad Nacional de Colombia  
ALBA GRACIELA ÁVILA  
Universidad de los Andes  
ANDRÉS FELIPE LÓPEZ  
Universidad Libre  
SILVIO ALEJANDRO LÓPEZ PASOS  
Colegio Mayor de Cundinamarca

Actualmente el contenido está indexado e incluido en: Publlindex – Categoría C, EBSCO, Latindex, DOAJ, CENGAGE learning, Base, Google Scholar

# CONTENIDO

Vol. 6 N° 2, julio-diciembre 2016

## Editorial

La supremacía de los más aptos en extremo

*Javier Hernández-Fernández*

Editor Ciencias Naturales Revista *Mutis*

5

---

## ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN – RESEARCH ARTICLES

Características de la avifauna en un fragmento de bosque húmedo premontano afectado por ruido vehicular

Features of the avifauna in a fragment of premontane moist forest affected by vehicular noise

*Jessica Nathalia Sánchez-Guzmán, Sergio Losada-Prado*

7

---

Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo

Water quality characterization from creek Fucha using ICO pollution indices about precipitation and land use

*Andrés Guillermo Chavarro, Elvia Johanna Gévez Bernal*

19

---

Diversidad de coleópteros en un bosque alto andino del municipio de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá)

Diversity of coleoptera in a high forest Andean in the municipality of Santa Rosa de Viterbo (Boyacá)

*Humberto Bohórquez Salazar, Sandra Mireya Buitrago Burgos, Jaime Ricardo Cristancho Chinome, Jairo Robles Piñeros, Milena Paola Mendieta, Gloria Leonor Gutiérrez Gómez*

32

---

Análisis del origen de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Bogotá usando gráficos polares

Analysis of the origin of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Bogota by using polar plots

*Pedro Alejandro García Ávila, Néstor Y. Rojas*

47

---

Aplicación de tres índices bióticos en el río San Juan, Andes, Colombia

Application of three biotic indexes in the river San Juan, Andes, Colombia

*Maledt Paola Murillo Torrentes, Orlando Caicedo Quintero, Esnedy Hernández Atilano, Heazel Grajales Vargas, Jenny A. Mesa V., Fernando A. Cortés, Fabio de Jesús Vélez Macías, Néstor Jaime Aguirre Ramírez*

59

---

---

Estudio de prefactibilidad para el diseño de una planta de etanol a partir de residuos de cosecha de caña de azúcar

Pre-feasibility study for design of a ethanol plant from waste of sugar sugarcane

*Yenny del Carmen Velásquez Riascos, Jorge Enrique López* 74

---

Variabilidad mensual de la velocidad de surgencia y clorofila *a* en la región del Panama Bight

Monthly rate variation upwelling and chlorophyll *a* in the region of Panama Bight

*Nancy Villegas, Igor Málikov, Diana Díaz* 82

---

#### **ARTÍCULOS DE REVISIÓN – REVIEW ARTICLES**

Meteorología, socioeconomía y gestión del riesgo de desastres del evento El Niño Oscilación del Sur en Colombia

Meteorology, socioeconomics and disaster risk management of the El Niño Southern Oscillation in Colombia

*Rubén Azcárate, Angélica Mejía-Fajardo* 95

---

**Instrucciones para autor** 110

## EDITORIAL

Vol. 6 (2) pp. 5-6, julio-diciembre 2016

### LA SUPREMACÍA DE LOS MÁS APTOS EN EXTREMO

“Somos máquinas de supervivencia, vehículos autómatas programados a ciegas, o al azar, o mejor, con el fin de preservar las egoístas moléculas conocidas con el nombre de genes”

*El gen egoísta. Richard Dawkins*

La base de la vida en la tierra es el surgimiento de la diversidad, sin esta, no podríamos haber contado nuestra historia, que es evolutiva, basada en una fuerza tenaz denominada “selección natural”, que nos ha hecho tal como somos. Los genes han sido cernidos a través de nuestra historia y han sido reproducidos al azar diferencialmente. Cómo advertir, cómo proponer, cómo explicar el mundo social y psicológico sin un punto de vista biológico, o más bien genético, ¡qué digo, molecular! Los genes nos representan y las interacciones de ellos con otros genes y con el ambiente muestran la lucha egoísta por la supervivencia. Nuestros genes son egoístas, así lo propuso Dawkins en su libro “*El gen egoísta*” ¿Quién dijo que existe algo perfecto en el universo? ¿Quién como humano desearía honestamente, sinceramente, racionalmente la muerte de otro ser humano? ¡Un egoísta, tal vez! Existen humanos capaces de hacer campaña no por la vida, sí por la muerte, ha sucedido en toda la historia. Y creen en un dios, lo invocan y profesan una religión, y asisten con júbilo a sus iglesias. Los genes son egoístas y una buena cantidad de las conductas altruistas son en verdad actos egoístas disfrazados. Se puede esperar entonces que un gen que se haya perpetuado durante generaciones, un gen exitoso, tenga como mayor cualidad el egoísmo extremo, esto confluirá inevitablemente en el egoísmo en el comportamiento humano. Sin embargo, nuestros genes nos ordenan ser egoístas, pero por nuestra cultura, educación y ética (reglas sociales de convivencia) no estamos obligados *per se*, a obedecerlos. Es más, durante nuestra vida realizamos actos altruistas con nuestros hijos, más directamente, con nuestra pareja, y muchísimo menos con otros familiares, eso es así. Las mamás, es bien sabido se sacrifican a expensas del beneficio de sus hijos. Sería fácil ser altruistas, lamentablemente estamos programados para lo contrario.

Darwin, uno de los biólogos más famosos de la historia, propuso la evolución, la cual funciona a través del proceso de selección natural, que significa la supervivencia diferencial de los más “aptos”, ¿pero aptos para qué? para sobrevivir simplemente, o extendemos la aptitud hacia otros fines. El altruismo o el egoísmo serían cruciales para esta lucha. Si un grupo humano está compitiendo por la existencia y el individuo, o algunos individuos tienen que ser sacrificados en bien del grupo, este hecho repercute inmediatamente. Ya

que a expensas de estos, otros sobrevivirán. La pregunta es, ¿son los más aptos los sobrevivientes? El planeta se ha poblado por individuos con voluntad para sacrificarse ellos mismos. Ese grupo, claro, es altruista, pero si hay en él una minoría o por lo menos un rebelde egoísta, que por ninguna razón tienda a la realización de sacrificios en bien de su grupo, él definitivamente tendrá mayores posibilidades de sobrevivir y tener hijos. ¿Y estos hijos que pueden heredar? Después de varias generaciones tendremos familias que habrán superado en número a los grupos altruistas.

Cualquiera podría imaginar un mundo con grupos homogéneos de solo altruistas sin intrusos egoístas, pero existe la posibilidad de que por inmigración el grupo se contamine.

De acuerdo a Dawkins:

“Por lo regular, el altruismo dentro de un grupo va acompañado de egoísmo entre los grupos. Esta es la base de las asociaciones de todo tipo. La nación es el beneficiario principal del sacrificio altruista, se espera que los jóvenes mueran por la gloria del país (¿cuáles jóvenes?). Más aún, son estimulados a matar a otros humanos que bien podrían ser sus parientes o hermanos, solamente porque pertenecen a otro bando. A los individuos adiestrados se les pide que entreguen sus vidas, claro, a expensa de los más 'aptos', los egoístas, que nunca dejarían a sus hijos entrar en la guerra para salvar el país”.

Al fin y al cabo, la unidad de selección del egoísmo no es la especie ni el grupo, son los genes, las unidades de la herencia. Tratemos de enseñar a través de la educación la generosidad y el altruismo, porque hemos nacido egoístas.

**Javier Hernández-Fernández**  
Editor

Referencia

Dawkins, R. (1985). *El gen egoísta*. Barcelona, España: Salvat Editores S. A.

# Características de la avifauna en un fragmento de bosque húmedo premontano afectado por ruido vehicular

Jessica Nathalia Sánchez-Guzmán,\* Sergio Losada-Prado

Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias, Programa de Biología, Grupo de Investigación en Zoología. Apartado Aéreo 546, Barrio Santa Helena Parte Alta, Ibagué, Colombia.

\*Autor para correspondencia: [jessicanathaliasanchez@hotmail.com](mailto:jessicanathaliasanchez@hotmail.com)

## RESUMEN

La contaminación acústica producida por las carreteras representa uno de los factores que afecta en mayor medida la presencia, densidad y diversidad de la avifauna. En este estudio se evaluó la asociación entre el ruido vehicular, el número de especies de aves canoras y el número de detecciones en un fragmento de bosque ripario con alta influencia urbana. Se realizaron muestreos mensuales entre septiembre y noviembre de 2014 de 6:00 a 9:00 a. m. en un fragmento de bosque húmedo premontano dentro de la Universidad del Tolima. Las aves vocalizadas se grabaron durante diez min/hora y se registró el valor máximo de ruido (dB) obtenido en dos minutos. Los cantos se analizaron empleando Audacity® y la determinación de las especies se realizó consultando a expertos y confrontando con bases de datos. Se identificaron cantos de 43 especies principalmente de la familia Thraupidae y Tyrannidae. Se registraron diferencias significativas en el número de especies ( $F_{3,47} = 4,38; p = 0,025$ ) y el número de detecciones ( $F_{3,47} = 4,51; p = 0,02$ ) entre meses, y en el número de especies ( $F_{3,1} = 3,14; p = 0,05$ ) y el número de detecciones ( $F_{3,1} = 6,03; p = 0,004$ ) entre horas. No hubo diferencias significativas en las variables en relación a la intensidad del ruido vehicular, ni en los valores de ruido en los meses y horas muestreadas. Finalmente, se evidenció un aumento en el número de detecciones a medida que se genera la transición del período seco al lluvioso, por lo cual se recomienda realizar estudios de este tipo a escala temporal anual.

**Palabras claves:** bioacústica, cantos, detecciones, frecuencia, vocalizaciones.

**Editor:** Hernández Fernández, J.  
[javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

**Citation:** Sánchez-Guzmán, J. N. & Losada-Prado, S. (2016). Características de la avifauna en un fragmento de bosque húmedo premontano afectado por ruido vehicular. *Mutis* 6(2), 7-18, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1147>

**Received:** Marzo 10, 2016. **Accepted:** Junio 15, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

**Copyright:** ©2016 Sánchez-Guzmán, J. N. & Losada-Prado, S. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Competing Interests:** The authors have no conflict of interest.

## Features of the avifauna in a fragment of premontane moist forest affected by vehicular noise

### ABSTRACT

The noise pollution caused by road is one of the factors that more affect the presence, density and diversity of birds. In this study was evaluated the association between vehicular noise and, the number of species of songbirds and detections on a fragment of riparian forest with high urban influence.



Monthly samplings were made between september and november of 2014 from 06:00 to 09:00 h on a fragment of premontane moist forest within the University of Tolima. The song birds were recorded for ten min/hour and the maximum value of noise (dB) obtained in two minutes was recorded. The songs were analyzed using Audacity® and determination of species was conducted by consulting experts and confronting with databases. Were identified songs of 43 species mainly from the family Tyrannidae and Thraupidae. Significant differences were registered in the number of species ( $F_{3,47} = 4.38$ ;  $p = 0.025$ ) and the number of detections ( $F_{3,47} = 4.51$ ;  $p = 0.02$ ) between months, and the number of species ( $F_{3,1} = 3.14$ ;  $p = 0.05$ ) and the number of detections ( $F_{3,1} = 6.03$ ;  $p = 0.004$ ) between hours. There were no significant differences in the variables in relation to the intensity of vehicular noise, or noise values in the months and hours sampled. Finally, an increase in the number of detections as the transition from dry to rainy season was evident generated, so it is recommended that realize such studies to annual time scale.

**Keywords:** bioacoustic, detections, frequency, songs, vocalizations.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica derivada del ruido vehicular ha sido reconocida desde hace décadas como un importante problema ambiental (Ruiz, Rubines y Lahoz, 2006). En la actualidad dicho factor se ha extendido en el tiempo y en el espacio debido principalmente al dinámico desarrollo de la infraestructura urbana y vial (Fahrig, Pedla, Pope, Taylor y Wegner, 1995; McGregor, Bender y Fahrig, 2008; Pisanthy *et al.*, 2009), constituyendo una amenaza para las poblaciones silvestres. Entre los grupos taxonómicos más afectados se encuentran los anfibios, en los cuales se ha evidenciado que un disturbio sensorial externo como el ruido de los vehículos puede afectar el proceso de hibernación (Brattstrom y Bondello, 1983), alterar la comunicación durante la época de cortejo y cría (Wollerman y Willey, 2002; Bee y Swanson, 2007; Lengagne, 2008; Parris, Velik-Lord y North, 2009), generar cambios en la actividad locomotora (Lukanov, Simeonovska-Nikolova y Tzankov, 2014), e inhibir o promover la actividad vocal en algunas especies (Sun y Narins, 2005), entre otras consecuencias. Por otro lado, en los mamíferos se ha do-

cumentado que en especies sensibles a la presencia humana el ruido vehicular provoca abandono o no selección de áreas con influencia sonora de tráfico (Rost y Bailey, 1979; Mace, Waller, Manley, Lyon y Zuuring, 1996).

Por su parte, las aves debido a su recepción de sonidos para su comunicación intra e interespecífica y demás actividades cotidianas (Ruiz *et al.*, 2006), constituyen una las clases más afectadas por este problema, reportándose que el ruido antropogénico puede enmascarar los efectos acústicos, disminuyendo la eficacia de los llamados de alerta, señales de defensa territorial y apareamiento (Slabbekoorn y Peet, 2003; Slabbekoorn y den Boer-Visser, 2006), lo cual trae consecuencias demográficas graves como cambios en la abundancia y en la estructura de la comunidad (Francis, Ortega y Cruz, 2009). Se han realizado estudios que han evidenciado el efecto del ruido antropogénico en los cantos de las aves, los cuales han sido desarrollados principalmente en el hemisferio norte y han evaluado aspectos como cambios en las características del canto (Francis, Ortega y Cruz, 2011; Slabbekoorn, Yang y Halfwerk, 2012), en los patrones de ocupación (Goodwin y Shriver, 2013), y en la densidad poblacional y de cría (Peris y Pescador, 2004; Arévalo y Newhard, 2011), entre otros.

Entre los estudios realizados en Latinoamérica (Mendes, Colino-Rabanal y Peris, 2011; Mendoza y Arce-Plata, 2012; Pacheco-Vargas y Losada-Prado, 2015), son pocos los que evalúan específicamente el efecto del ruido vehicular en ambientes urbanos y sus consecuencias sobre las características de la comunidad. Tal es el caso de Perepelizin y Faggi (2009), quienes analizaron cómo las diferencias en la trama urbana condicionan la presencia y densidad de aves; dichos autores concluyen que una mayor presencia de aves se asocia directamente a una menor densidad poblacional humana y niveles de actividad y ruido menores. Por otro lado, Llavallol, Cellini y Gutiérrez (2012) registraron que no hay relación entre la variación del comportamiento, riqueza y abundancia de aves en el bosque de arrayanes (península de Quetrihue, Argentina) y la generación de ruidos en general. El objetivo de este estudio fue evaluar la asociación entre el ruido vehicular constante en diferentes meses y horas de la mañana, sobre el número de detecciones y de especies de aves canoras en un fragmento de bosque ripario con alta influencia urbana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El fragmento de bosque de este estudio se localiza en predios del Jardín Botánico Alejandro von Humboldt de la Universidad del Tolima, al sur del municipio de Ibagué, a 4° 25' 31" N y 75° 12' 30" W, en altitudes que oscilan entre 1070 y 1170 msnm. Su temperatura promedio es de 23 °C (entre 22,5 y 26,5 °C) y presenta una precipitación anual de 1193 mm (Moreno-Palacios, Jeyson-Sanabria, Díaz-Jaramillo, Carantón-Ayala y Parra-Hernández, 2007). Cuenta con una extensión de diez hectáreas (ha), de las cuales el 40% es terreno plano y el restante 60% pendiente. Presenta una vegetación típica de bosque seco tropical, bosque húmedo subandino y bosque húmedo andino, que sustenta aproximadamente 516 especies vegetales (exóticas y nativas) y sirve de hábitat para muchas especies animales (Moreno-Palacios *et al.*, 2007; Ospina-López y Reinoso-Flórez, 2009). Además, limita al sur a una distancia promedio de aproximadamente 75 m con la vía Panamericana (Variante), la cual comunica a Armenia con Bogotá, y se encuentra continuamente transitada por toda clase de vehículos, siendo fuente constante de ruido.

### Modelo de estudio

En la valoración de la calidad de hábitats urbanos es usual emplear a las aves como indicadoras, por ser un grupo muy diversificado ecológica y taxonómicamente, de distribución mundial y con una marcada sensibilidad a los cambios ambientales (Fernández-Juricic, 2000). Para este estudio, se seleccionó esta clase como indicador pues dentro de ella se hallan especies con comportamientos y sensibilidad variada ante el ruido (Goosem, 2002; Llavallol, *et al.*, 2012).

### Colecta de datos

Se llevaron a cabo dos muestreos mensuales en septiembre, octubre y noviembre de 2014. La grabación de los cantos se realizó durante diez minutos a las 6:00, 7:00, 8:00 y 9:00 horas dentro del área de estudio en tres puntos separados uno del otro por una distancia mínima de 30 metros (los cuales fueron seleccionados a partir de un premuestreo realizado en el mes de agosto), empleando un equipo de bioacústica compuesto por una grabadora digital Marantz PMD

661, un micrófono unidireccional Sennheiser ME62 y una antena parabólica Sennheiser. Para la medición del ruido (decibeles, dB) se empleó un sonómetro Extech 407730 y se realizó durante el registro de las grabaciones, obteniéndose su valor mediante el promedio de dos mediciones de dos minutos por cada hora de estudio, las cuales se realizaron en ausencia de lluvia o viento fuerte.

La revisión de los cantos se hizo empleando el software de edición de audio Audacity® versión 2.0.5. (Audacity Team, 2013) (formato de muestra 32 bits flotante; frecuencia real 44100 Hz; velocidad 1,00 X), con el fin de visualizar el espectrograma, escuchar e identificar la especie que está vocalizando y hacer los recortes de cada grabación para posteriormente ingresar aquellas de mejor calidad a la colección bioacústica de la Universidad del Tolima (CBUT). El proceso de determinación de la especie vocalizadora se llevó a cabo confrontando las grabaciones y recortes en la base de datos Xeno-canto, con las grabaciones almacenadas en la CBUT y consultando a expertos.

### Análisis de datos

Las características de la comunidad de aves en cada hora se expresaron como la frecuencia de ocurrencia absoluta (FOA: número de muestreos en los que cada especie se registró) y relativa (FOR: [número de muestreos en que cada especie se registró/total de muestreos]\*100) de las especies detectadas; la abundancia relativa ([frecuencia de ocurrencia absoluta/total individuos detectados]\*100); y el número de especies detectadas en una sola hora de la mañana o con una sola detección durante todo el estudio. Además, se empleó un índice de importancia relativa (IIR), modificado a partir del índice utilizado por Bucher y Herrera (1981), como estimador general de la importancia de cada especie en el área de estudio (Gatto, Quintana, Yorio y Lisnizer, 2005), según la expresión  $IIR = 100 \pi_i (S_i + E_i) / (S_t + E_t)$ , donde  $\pi_i = n_i/N$  ( $n_i$ : número total de detecciones de la especie;  $N$ : número total de la suma de todas las detecciones de todas las especies),  $S_i$  es el número de días en los cuales la especie  $i$  estuvo presente,  $E_i$  es el número de horas en las cuales la especie  $i$  estuvo presente, y  $S_t$  y  $E_t$  el número total de días y horas de muestreo, respectivamente.

Los efectos de la hora, el mes y la intensidad de ruido vehicular sobre el número de especies y el número de

detecciones se determinaron aplicando análisis de varianza (ANOVA), previa confirmación del cumplimiento de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianzas (prueba F) (Di Rienzo *et al.*, 2013). En el caso de la relación entre la intensidad del ruido vehicular y las horas y meses muestreados, los supuestos mencionados fueron infringidos, por tal se aplicó el método no paramétrico de Kruskal-Wallis. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa InfoStat® (Di Rienzo *et al.*, 2013).

## RESULTADOS

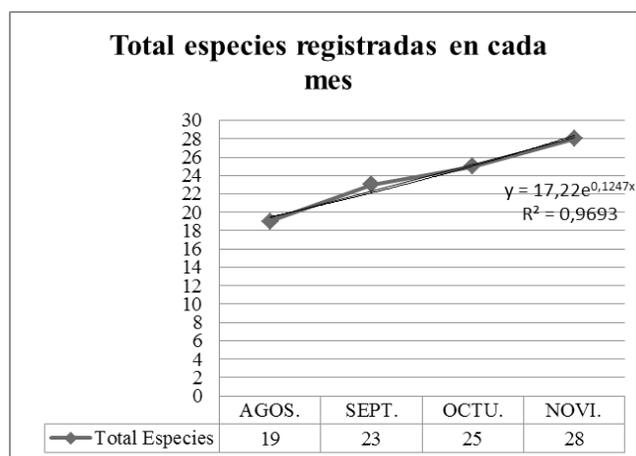
### Características de la comunidad

A través de registros bioacústicos se reconocieron 43 especies de aves, distribuidas en 11 órdenes y 19 familias. La familia más numerosa fue Thraupidae con 13 especies, seguida de Tyrannidae con siete especies y Troglodytidae con tres especies (Anexo 1). En cuanto al número de detecciones, la familia con más registros fue Thraupidae con 65 detecciones, seguida por Vireonidae, Troglodytidae y Psittacidae con 48, 42 y 37 detecciones respectivamente. Las especies más vocalizadoras fueron *Brotogeris jugularis* y *Troglodytes aedon* con 37 detecciones, seguidas por *Myiothlypis fulvicauda* con 31, constituyendo dichas especies el 31,44% de los registros totales.

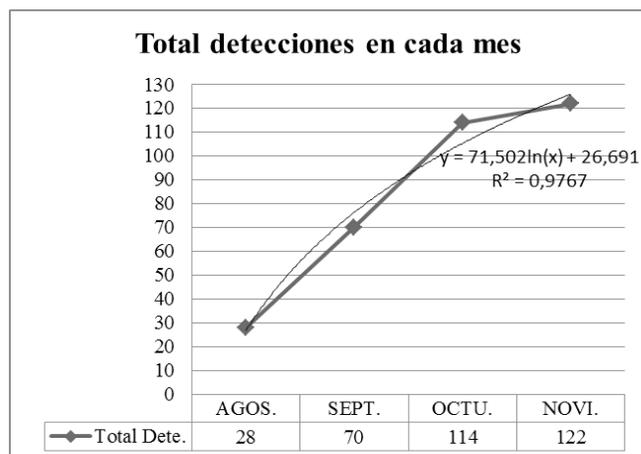
Se registraron seis especies durante todos los muestreos (FOR del 100%): *M. fulvicauda*, *Pitangus sulphuratus*, *Ramphocelus dimidiatus*, *Saltator striatipectus*, *Thraupis episcopus* y *T. aedon* (Anexo 1), las cuales presentaron la abundancia relativa más alta con un valor de 2,10. Para el índice de importancia relativa, *T. aedon* obtuvo el valor superior seguido por *B. jugularis* y *M. fulvicauda*, lo cual indica que estas especies fueron las más detectadas durante mayor número de días y horas de muestreo. Veinte de las especies registradas (46,51%) presentaron un IIR superior a 0,5 (Anexo 1).

Además, se registraron ocho especies durante todos los meses (las seis con FOR del 100% junto a *Hylophilus flavipes* y *Turdus ignobilis*); diez especies en tres meses, ocho especies en dos meses y 17 especies en un solo mes, encontrándose discrepancias en el número de especies en relación al mes ( $F_{3,47} = 4,38$ ;  $p = 0,025$ ), siendo noviembre y octubre los meses que mostraron mayor número de estas (figura 1). De

las especies registradas en un solo mes, *Henicorhina leucosticta*, *Phaeomyias murina*, *Thraupis palmarum* y *Todirostrum cinereum* se encontraron únicamente en agosto, mes de premuestreo. De igual modo, se encontraron diferencias en el número de detecciones entre meses ( $F_{3,47} = 4,51$ ;  $p = 0,02$ ), así el mes con mayor número de ellas fue noviembre, debido a que durante las 6:00, 8:00 y 9:00 h presentó mayor registro de individuos vocalizadores; seguidamente se encuentra octubre, mes durante el cual se registró la mayor actividad canora a las 7:00 h (figura 2).



**Figura 1.** Número de especies registradas bioacústicamente en cada mes de muestreo y premuestreo en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt (agosto-noviembre 2014)



**Figura 2.** Detecciones totales en cada mes de muestreo y premuestreo en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt (agosto-noviembre 2014)

Al analizar las vocalizaciones por horas, observamos que 11 especies estuvieron activas durante todas ellas y por tal presentaron una FOR del 100%, siete se registraron en dos y tres horas, y 14 especies vocalizaron exclusivamente en una hora (tabla 1). Adicionalmente, durante el estudio solo a las 6:00 h se detectaron

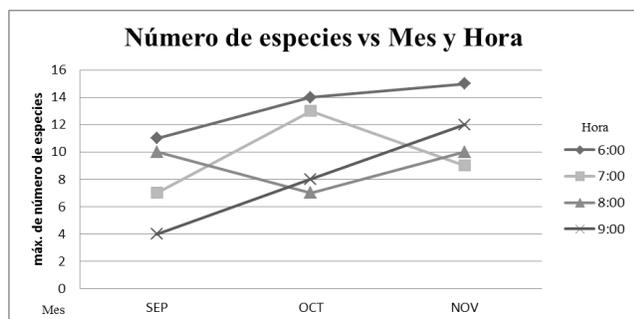
cinco especies; a las 7:00 h, cuatro; a las 8:00 h, dos; y finalmente solo a las 9:00 h, tres. Estas especies se registraron una única vez en todo el muestreo, exceptuando *T. leucomelas* la cual fue reconocida en dos ocasiones a las 6:00 h (tabla 1).

**Tabla 1.** Especies de aves detectadas en las diferentes horas de muestreo (6:00-9:00 h) en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt

Todas las horas	Especies registradas					
	Tres horas	Dos horas	Una hora			
			6:00	7:00	8:00	9:00
<i>Brotogeris jugularis</i>	<i>Tachyphonus luctuosus</i>	<i>Myiozetetes similis</i>	<i>Momotus aequatorialis</i>	<i>Aramides cajaneus</i>	<i>Basilleuterus rufifrons</i>	<i>Amazilia tzacalt</i>
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	<i>Pheugopedius fasciatoventri</i>	<i>Tangara vitriolina</i>	<i>Myrmeciza longipes</i>	<i>Coereba flaveola</i>	<i>Sporophila minuta</i>	<i>Dacnis cayana</i>
<i>Hylophilus flavipes</i>	<i>Sicalis flaveola</i>	<i>Tangara cyanicollis</i>	<i>Nyctidromus albigollis</i>	<i>Elaenia chiriquensis</i>		<i>Elaenia flavogaster</i>
<i>Myiothlypis fulvicauda</i>	<i>Columbina talpacoti</i>	<i>Thamnophilus doliatus</i>	<i>Tangara girola</i>	<i>Eucometis penicillata</i>		
<i>Pitangus sulphuratus</i>	<i>Megarynchus pitangua</i>	<i>Vanellus chilensis</i>	<i>Turdus leucomelas</i>			
<i>Ramphocelus dimidiatus</i>	<i>Malacoptila mystacalis</i>	<i>Euphonia laniirostris</i>				
<i>Rupornis magnirostris</i>	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	<i>Tiaris bicolor</i>				
<i>Saltator striatipectus</i>						
<i>Troglodytes aedon</i>						
<i>Thraupis episcopus</i>						
<i>Turdus ignobilis</i>						

Por otro lado, las características de la comunidad de aves en las horas evaluadas presentaron cambios notables a medida que transcurría la mañana, de modo tal que existen diferencias en la distribución del número de especies ( $F_{3,1} = 3,14$ ;  $p = 0,05$ ), y número de detecciones entre las horas muestreadas ( $F_{3,1} = 6,03$ ;  $p = 0,004$ ). Así, durante todo el estudio a las 6:00 h se presentó el mayor número de detecciones y especies; mientras que a las 7:00 y 8:00 h se observó un comportamiento inverso que nos hace formular la posible hipótesis de que las especies que can-

tan a la primera hora no lo hacen a la siguiente y viceversa; por su parte a las 9:00 h el número de registros y especies canoras descende en la comunidad (figura 3). En cuanto a la abundancia, la especie con mayor número de detecciones a las 6:00 y 7:00 h corresponde a *B. jugularis* con 13 y 12 respectivamente, presentando valores de 4,25 y 3,92; mientras que a las 8:00 y 9:00 h fue *T. aedon* con 10 y 7 detecciones y abundancias de 3,27 y 2,29 junto a *S. striatipectus* con valores iguales en la última hora.



**Figura 3.** Número máximo de especies por mes y hora a través de registros bioacústicos en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt

### Efecto del ruido

Se registraron valores de ruido de entre 43,9 dB y 75,7 dB. No se presentaron diferencias en el rui-

do vehicular entre meses ( $H = 1,82$ ;  $p = 0,40$ ), sin embargo, en promedio el mes que presentó el mayor valor de ruido fue septiembre con 61,36 dB, seguido por octubre con 60,48 dB y noviembre con 59,75 dB. Tampoco se presentaron diferencias en el ruido vehicular entre horas ( $H = 3,10$ ;  $p = 0,38$ ), pero los valores de ruido registrados de mayor a menor siguieron el siguiente orden: 9:00, 8:00, 6:00 y 7:00 h (tabla 2). No se detectaron asociaciones significativas en el número de especies ( $F_5 = 0,75$ ;  $p = 0,41$ ) o el número de detecciones con relación a la intensidad de ruido vehicular ( $F_5 = 0,46$ ;  $p = 0,51$ ); sin embargo, se observó que tanto el número de detecciones como el número de especies decrece al aumentar el promedio de ruido registrado (tabla 2).

**Tabla 2.** Promedio de ruido registrado en cada mes y hora de la mañana en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt (septiembre-noviembre, 2014)

Mes	Hora	dB	N° detecciones	N° especies
Septiembre	6:00	60,38	15	10,5
	7:00	59,42	6	5
	8:00	59,27	10,5	8,5
	9:00	66,38	3,5	3,5
Octubre	6:00	59,58	18,5	12
	7:00	59,52	16	11,5
	8:00	61,78	11	6,5
	9:00	61,03	11,5	8
Noviembre	6:00	59,18	23	14
	7:00	58,83	11,5	8,5
	8:00	59,08	13	10
	9:00	61,91	13,5	11,5

### DISCUSIÓN

El registro de 43 especies de aves canoras en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt representa el 26,87% de las especies reportadas por Moreno-Palacios, Jeyson-Sanabria, Díaz-Jaramillo, Carantón-Ayala y Parra-Hernández (2007), quienes registraron 160 especies mediante la aplicación de métodos variados como las detecciones visuales, auditivas y el uso de redes de niebla. La notable diferencia entre el total de especies detectadas bioacústicamente y las regis-

tradas por medio de los métodos mencionados, radica en que buena parte de las especies inventariadas no presentan amplia actividad vocal, además es frecuente que la detectabilidad de los organismos mediante métodos bioacústicos varíe según la tasa de canto, la época del año, las condiciones climáticas, la hora del día, el tipo de ambiente (Catchpole y Slater, 1995; McShea y Rappole, 1997), la disponibilidad de alimento (Alatalo, Glynn y Lundberg, 1990) y el ruido ambiental.

La presencia de un alto número de especies de las familias Thraupidae y Tyrannidae corresponde significativamente a algunas zonas abiertas aledañas al jardín botánico, además estas familias presentan un dominante número de especies en la zona de estudio (11 y 26 respectivamente) (Moreno-Palacios *et al.*, 2007), y se caracterizan por presentar alta actividad vocal. También es posible que su notable presencia en el área estudiada se deba a sus preferencias alimenticias, las cuales afectan en menor medida a las especies que son más propensas a las condiciones de la comida urbana siendo típicamente más exitosas las aves omnívoras, frugívoras e insectívoras que las especies carnívoras (Clergeau, Savard, Mennechez y Falardeau, 1998; Lim y Sodhi, 2004).

Las especies con mayor número de detecciones tanto en los meses como en las horas de trabajo, son consideradas como abundantes en la región, pues son comunes en una amplia variedad de hábitats con diferentes grados de intervención antrópica incluyendo la ciudad, y, por tal se categorizan como especies urbanas caracterizadas por presentar un buen grado de adaptación y tolerancia a niveles intensos de ruido vehicular continuo (Slabbekoorn, 2004). Además, según lo postulado por Marzluff (2005), la urbanización por lo general tiene un efecto negativo sobre las especies raras y favorece a otras que se vuelven cada vez más comunes, como las especies generalistas nativas o colonizadoras urbanas (no nativas), afirmación que explica la razón por la cual las especies con IIR superior a 0,5 son las más detectadas en los meses y horas de muestreo sin importar el promedio de ruido vehicular registrado en los mismos (Anexo 1).

Por otro lado, según Catchpole y Slater (1995) y Ralph *et al.* (1996), para la mayoría de especies las tasas de canto son más altas durante el período entre la primera luz del día (el amanecer y la salida del sol) y disminuye gradualmente hacia el mediodía. En zonas tropicales, los horarios de canto de las diferentes especies pueden variar entre sí, pues estas tienden a comenzar a cantar en diferentes momentos, evidenciándose que las especies que pueden ver mejor a bajas intensidades de luz generalmente inician sus actividades diarias antes del amanecer (Thomas *et al.*, 2002), además, la altura de forrajeo también influye en la hora de inicio del repertorio vocal (Berg, Brumfield y Apanius, 2006). Así, las 6:00 h con su mayor registro de especies (30) y detecciones

(118), y las 9:00 h y sus valores mínimos (23 especies y 58 detecciones), evidencian dicha teoría.

Pater (2001) menciona que existe una dificultad metodológica relacionada con el hecho de suponer el efecto del sonido como una consecuencia aislada de otras variables que expliquen ciertos comportamientos de la fauna silvestre. En muchos ensayos no es claro si las respuestas observadas se deben exclusivamente al sonido o a otros componentes provocadores de disturbio, por tal la discriminación de estos factores tiene especial relevancia a la hora de diseñar estudios de afectación del ruido ambiental con respecto a las diferentes especies (Richardson, Greene, Malme y Thomson, 1995), en este estudio se evidencia que la intensidad del ruido vehicular no incide en el número de especies y detecciones, sino que estas variables se ven principalmente afectadas por la hora de muestreo, sin embargo, no se descarta que en lugares en donde la intensidad del ruido sea menos constante este factor influya sobre la persistencia de las comunidades de aves y su conservación.

Por otra parte, al igual que en estudios desarrollados por Stone (2000), Peris y Pescador (2004) y Llavallol *et al.* (2012), no se detectaron asociaciones significativas entre la intensidad de ruido y las características de la comunidad de aves incluso cuando la fuente de ruido era cercana, pero la correlación entre el número de detecciones o especies y el nivel sonoro sugieren que el ruido podría incidir sobre estos caracteres. Así, de acuerdo con lo expuesto previamente, el jardín botánico de la Universidad del Tolima se postula como un sitio de interés para el monitoreo y la realización de trabajos que permitan conocer cómo la avifauna que sustenta se ve afectada por los procesos antrópicos desarrollados en el o en sus cercanías (carreteras aledañas), como una forma de contribuir a la preservación y conservación de este fragmento de bosque que actúa como conector biológico entre el área urbana y otras zonas boscosas.

## CONCLUSIONES

No existen diferencias significativas en el número de especies y de detecciones en relación a la intensidad del ruido vehicular, sin embargo, estas variables se ven fuertemente influenciadas por el mes y la hora de muestreo. Además, se evidencia que el notable aumento en el número de detecciones a medida que

trascurren los meses, se genera principalmente por la transición de la época seca a la lluviosa. Recomendamos realizar más estudios sobre la influencia del ruido en las comunidades de aves tanto en zonas urbanas como semiurbanas y consideramos importante ampliar a escala anual dichos trabajos.

## AGRADECIMIENTOS

Jessica Nathalia Sánchez-Guzmán agradece al Grupo de Investigación en Zoología por la logística durante los meses de pasantía del Programa de Biología de la Universidad del Tolima.

## REFERENCIAS

- Alatalo, R. V., Glynn, C. & Lundberg, A. (1990). Singing rate and female attraction in the Pied flycatcher: An experiment. *Animal Behaviour*, 39(3), 601-603.
- Arévalo, J. E. & Newhard, K. (2011). Traffic noise affects forest bird species in a protected tropical forest. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 969-980.
- Audacity Team (2013). Audacity® Version 2.0.5. Audio editor and recorder. Disponible en: <http://audacity.sourceforge.net/>
- Bee, M. A. & Swanson, E. M. (2007). Auditory masking of anuran advertisement calls by road traffic noise. *Animal Behaviour*, 74(6), 1765-1776.
- Berg, K. S., Brumfield, R. T. & Apanius, V. (2006). Phylogenetic and ecological determinants of the Neotropical dawn chorus. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273, 999-1005.
- Brattstrom, B. H. & Bondello, M. C. (1983). Effects of off-road vehicle noise on desert vertebrates. En Webb R.H. & Wilshire H.G. (eds.). *Environmental effects of off-road vehicles. Impacts and management in arid regions*. (pp. 167-206). New York: Springer-Verlag.
- Bucher, E. H. & Herrera, G. (1981). Comunidades de aves acuáticas de la laguna Mar Chiquita (Córdoba, Argentina). *Ecosur*, 8(15), 91-120.
- Catchpole, K. C. & Slater, P. J. B. (1995). *Bird song: Biological themes and variations*. (pp. 113-138). New York: Cambridge University Press. 2 ed.
- Clergeau, P., Savard, J-P. L., Mennechez, G. & Falardeau, G. (1998). Bird abundance and diversity along an urban-rural gradient: a comparative study between two cities on different continents. *Condor*, 100(3), 413-425.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Fahrig, L., Pedla, J. H., Pope, S. E., Taylor, P. D. & Wegner, J. F. (1995). Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation*, 73(3), 177-182.
- Fernández-Juricic, E. (2000). Bird community composition patterns in urban parks of Madrid: the role of age, size, and isolation. *Ecological Research*, 15(4), 373-383.
- Francis, C. D., Ortega, C. P. & Cruz, A. (2009). Noise pollution changes avian communities and species interactions. *Current Biology*, 19(16), 1415-1419.
- Francis, C. D., Ortega, C. P. & Cruz, A. (2011). Vocal frequency change reflects different responses to anthropogenic noise in two subspecies of tyrant flycatchers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1714), 2025-2031.
- Gatto, A., Quintana, F., Yorio, P. & Lisnizer, N. (2005). Abundancia y diversidad de aves acuáticas en un humedal marino del golfo San Jorge, Argentina. *Hornero*, 20(2), 141-152.
- Goodwin, S. E. & Shriver, W. G. (2013). Effects of traffic noise on occupancy patterns of forest birds. *Conservation Biology*, 25(2), 406-411.
- Goosem, M. (2002). Effects of tropical rainforest roads on small mammals: fragmentation, edge effects and traffic disturbance. *Wildlife Research*, 29(3), 277-289.
- Llavallo, C., Cellini, J. M. & Gutiérrez, M. (2012). Impacto del ruido sobre la riqueza y abundancia de las aves, en el bosque de arrayanes (*Luma apiculata* (DC) Burret) en península de Quetihue, Argentina. *UNLaR Ciencia*, 1(1), 20-26.

- Lengagne, T. (2008). Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *Hyla arborea*. *Biological Conservation*, 141(8), 2023-2031.
- Lim, H. C. & Sodhi, N. S. (2004). Responses of avian guilds to urbanization in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 66(4), 199-215.
- Ospina-López, L. A. & Reinoso-Flórez, G. (2009). Mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) del Jardín Botánico Alejandro von Humboldt de la Universidad del Tolima (Ibagué Colombia). *Tumbaga*, 1(4), 135-148.
- Lukanov, S., Simeonovska-Nikolova, D. & Tzankov, N. (2014). Effects of traffic noise on the locomotion activity and vocalization of the Marsh Frog, *Pelophylax ridibundus*. *North-Western Journal of Zoology*, 10(2), 359-364.
- Mace, R. D., Waller, J. S., Manley, T. L., Lyon, L. J. & Zuuring, H. (1996). Relationships among grizzly bears, roads and habitat in the Swan Mountains, Montana. *Journal of Applied Ecology*, 33(6), 1395-1404.
- Marzluff, J. M. (2005). Island biogeography for an urbanizing world: how extinction and colonization may determine biological diversity in human-dominated landscapes. *Urban Ecosystems*, 8(2), 157-177.
- McGregor, R. L., Bender, D. J. & Fahrig, L. (2008). Do small mammals avoid roads because of the traffic? *Journal of Applied Ecology*, 45(1), 117-123.
- McShea, W. J. & Rappole, J. H. (1997). Variable song rates in three species of passerines and implications for estimating bird populations. *Journal of Field Ornithology*, 68(3), 367-375.
- Mendes, S., Colino-Rabanal, V. J. & Peris, S. J. (2011). Diferencias en el canto de la ratona común (*Troglodytes musculus*) en ambientes con distintos niveles de influencia humana. *Hornero*, 26(2), 85-93.
- Mendoza, A. M. & Arce-Plata, M. I. (2012). Aproximación al impacto de la perturbación urbana en las vocalizaciones de *Pitangus sulphuratus* (Tyrannidae) en Santiago de Cali, Valle del Cauca (Colombia). *Revista de Ciencias Universidad del Valle*, 16, 19-29.
- Moreno-Palacios, M., Jeyson-Sanabria, J., Díaz-Jaramillo, C., Carantón-Ayala, D. & Parra-Hernández, R. (2007). Caracterización de la avifauna del Jardín Botánico Alejandro von Humboldt Universidad del Tolima. Inf. téc. Jardín Botánico AvH– Universidad del Tolima. Ibagué.
- Pacheco-Vargas, G. & Losada-Prado, S. (2015). Efecto del ruido del tráfico vehicular en cantos de *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 6(2), 177-183.
- Pater, L. (2001). Defining auditory thresholds for animal species. En Baker M. & Belliveau G. (ed.). *Proceedings of the effects of noise on wildlife conference*. (pp. 22-25). Happy Valley-Goose Bay, Labrador: Institute for environmental monitoring and research.
- Parris, K. M., Velik-Lord, M. & North, J. M. A. (2009). Frogs call at a higher pitch in traffic noise. *Ecology and Society*, 14(1), 25.
- Perepelizin, P.V. & Faggi, A. M. (2009). Diversidad de aves en tres barrios de la ciudad de Buenos Aires, Argentina. *Multequina*, 18(2), 71-85.
- Peris, S. J. & Pescador, M. (2004). Effects of traffic noise on passerine populations in Mediterranean wooded pastures. *Applied Acoustics*, 65(4), 357-366.
- Pisanty, I., Mazari, M., Ezcurra, E., et al. (2009). El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas, en capital natural de México. En Dirzo, R., González, R. & March, I.J. (ed.). *Estado de conservación y tendencias de cambio*. (pp. 719-759). México: Conabio.
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F. & Borja, M. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres* (p. 46). Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Richardson, W. J., Greene, C. R., Malme, C. I. & Thomson, D. H. (1995). *Marine mammals and noise* (p. 576). San Diego CA: Academy press Inc.

- Rost, G. R. & Bailey, J. A. (1979). Distribution of mule deer and elk in relation to roads. *Journal of Wildlife Management*, 43(3), 634-641.
- Ruiz, A., Rubines, J. & Lahoz, E. (2006). Efecto de la contaminación acústica sobre las poblaciones de vertebrados forestales en Álava. Asociación medioambiental ATTHIS. Disponible en: [http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-3074/es/contenidos/informe\\_estudio/contaminacion\\_acustica\\_vertibr/es\\_doc/adjuntos/memoria.pdf](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-3074/es/contenidos/informe_estudio/contaminacion_acustica_vertibr/es_doc/adjuntos/memoria.pdf)
- Slabbekoorn, H. & Peet, M. (2003). Ecology: Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, 424(6946), 267.
- Slabbekoorn, W. H. (2004). Singing in the wild: The science of birdsong. En Marler, P. & Slabbekoorn W. H. (eds.). *Nature's music*. (pp. 178-205). San Diego, California: Elsevier Academic Press.
- Slabbekoorn, H. & den Boer-Visser, A. (2006) Cities change the songs of birds. *Current Biology*, 16(23), 2326-2331.
- Slabbekoorn, H., Yang, X. J. & Halfwerk, W. (2012). Birds and Anthropogenic Noise: Singing Higher May Matter (A Comment on Nemeth and Brumm, "Birds and Anthropogenic Noise: Are Urban Songs Adaptive?"). *The American Naturalist*, 180(1), 142-145.
- Stone, E. (2000). Separating the noise from the noise: a finding in support of the 'niche hypothesis', that birds are influenced by human-induced noise in natural habitats. *Anthrozoos*, 13(4), 225-231.
- Sun, J. W. C. & Narins, P. (2005). Anthropogenic sounds differentially affect amphibians call rate. *Biological Conservation*, 121(3), 419-427.
- Thomas, R. J., Szekely, T., et-al. (2002). Eye size in birds and the timing of song at dawn. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 269(1493), 831-837.
- Wollerman, L. & Wiley, R. H. (2002). Possibilities for error during communication by Neotropical frogs in a complex acoustic environment. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 52(6), 465-473.

**Anexo 1.** Frecuencia de ocurrencia absoluta y relativa (FOR), índice de importancia relativa (IIR) y abundancia relativa de las especies de aves registradas mediante herramientas bioacústicas en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt de la Universidad del Tolima, Ibagué (Colombia) (SACC Classification version 26 May 2014).

ORDEN	Datos taxonómicos		Frecuencia de ocurrencia		IIR	Abundancia relativa (%)
	FAMILIA	ESPECIES	Absoluta	Relativa (%)		
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Rupornis magnirostris</i>	4	57,14	2,40	1,2
Gruiformes	Rallidae	<i>Aramides cajaneus</i>	1	14,29	0,05	0,3
Charadriiformes	Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i>	2*	28,57	0,33	0,6
Columbiformes	Columbidae	<i>Columbina talpacoti</i>	2	28,57	0,54	0,6
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Nyctidromus albicollis</i>	1	14,29	0,05	0,3
Apodiformes	Trochilidae	<i>Amazilia tzacalt</i>	2*	28,57	0,16	0,6
Coraciiformes	Momotidae	<i>Momotus aequatorialis</i>	1	14,29	0,05	0,3
Galbuliformes	Bucconidae	<i>Malacoptila mystacalis</i>	1	14,29	0,33	0,3
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	5*	71,43	1,31	1,5
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Brotogeris jugularis</i>	6	85,71	10,07	1,8
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Thamnophilus doliatus</i>	4	57,14	0,65	1,2
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Myrmeciza longipes</i>	2*	28,57	0,16	0,6
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia flavogaster</i>	1	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia chiriquensis</i>	1	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Phaeomyias murina</i> **	1*	14,29	0,03	0,3
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Todirostrum cinereum</i> **	1*	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiozetetes similis</i>	3*	42,86	0,41	0,9
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>	7*	100	4,49	2,1
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Megarynchus pitangua</i>	3	42,86	0,82	0,9
Passeriformes	Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	6	85,71	5,44	1,8
Passeriformes	Vireonidae	<i>Hylophilus flavipes</i>	6*	85,71	7,62	1,8
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	7*	100	11,08	2,1
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Pheugopedius fasciatoventri</i>	2	28,57	0,54	0,6
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Henicorhina leucosticta</i> **	1*	14,29	0,03	0,3
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus leucomelas</i>	2	28,57	0,16	0,6
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus ignobilis</i>	6*	85,71	3,27	1,8
Passeriformes	Thraupidae	<i>Eucometis penicillata</i>	1	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tachyphonus luctuosus</i>	1	14,29	0,33	0,3
Passeriformes	Thraupidae	<i>Ramphocelus dimidiatus</i>	7*	100	5,69	2,1
Passeriformes	Thraupidae	<i>Thraupis episcopus</i>	7*	100	5,99	2,1
Passeriformes	Thraupidae	<i>Thraupis palmarum</i> **	1*	14,29	0,03	0,3
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara vitriolina</i>	3	42,86	0,4	0,9
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara cyanicollis</i>	3	42,86	0,68	0,9
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara girola</i>	1	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Thraupidae	<i>Dacnis cayana</i>	1	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Thraupidae	<i>Sicalis flaveola</i>	3	42,86	0,65	0,9

Datos taxonómicos			Frecuencia de ocurrencia		IIR	Abundancia relativa (%)
ORDEN	FAMILIA	ESPECIES	Absoluta	Relativa (%)		
Passeriformes	Thraupidae	<i>Sporophila minuta</i>	1	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Thraupidae	<i>Coereba flaveola</i>	1	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tiaris bicolor</i>	4*	57,14	0,82	1,2
Passeriformes	Incertae Sedis	<i>Saltator striatipectus</i>	7*	100	7,49	2,1
Passeriformes	Parulidae	<i>Myiothlypis fulvicauda</i>	7*	100	9,28	2,1
Passeriformes	Parulidae	<i>Basilleuterus rufifrons</i>	1	14,29	0,05	0,3
Passeriformes	Fringillidae	<i>Euphonia laniirostris</i>	3*	42,86	0,68	0,9

\*Frecuencias de ocurrencia absolutas que incluyen detecciones de algún individuo en el mes de agosto.

\*\*Especies registradas en agosto y que no fueron detectadas en los demás meses.

# Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo

Andrés Guillermo Chavarro<sup>1,\*</sup>, Elvia Johanna Gélvez Bernal

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Maestría en Ciencias Ambientales, Bogotá D. C., Colombia.

\*Autor para correspondencia: [andresguillermochavarro@hotmail.com](mailto:andresguillermochavarro@hotmail.com)

## RESUMEN

Se presentan los resultados de la caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha a través de los índices de contaminación ICO con respecto a los usos del suelo en diferentes épocas del año 2015. La quebrada se encuentra ubicada en la localidad de Usme, al suroriente de Bogotá (Colombia), en el límite urbano rural. Se midieron variables fisicoquímicas en seis muestreos y en tres puntos de la quebrada, se calcularon cuatro índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO); a estos se les realizó un análisis multivariado de correlación incluyendo la precipitación y los usos del suelo como variable indicador, se determinó el grado de correlación a través de regresiones simples para dos pares de variables. Adicionalmente se realizó un ANOVA con los usos del suelo y los valores obtenidos de los índices. No se encontró contaminación por mineralización y la quebrada en general presentó condiciones eutróficas, de igual manera se pudo establecer una correlación estadísticamente significativa entre la precipitación y el índice de contaminación trófica (ICOTRO), así como entre el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e ICOTRO. Por su parte los usos del suelo no presentaron una correlación significativa con el aumento o disminución en el valor de los índices.

**Palabras clave:** calidad del agua, índices de contaminación, quebrada.

**Editor:** Hernández Fernández, J.  
[javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

**Citation:** Chavarro, A. G. & Gélvez-Bernal, E. J. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Mutis* 6(2), 19-31, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1148>

**Received:** Marzo 21, 2016. **Accepted:** Junio 20, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

**Copyright:** ©2016 Chavarro, A. G. & Gélvez-Bernal, E. J. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Competing Interests:** The authors have no conflict of interest.

## Water quality characterization from creek Fucha using ICO pollution indices about precipitation and land use

### ABSTRACT

The results of the characterization of the quality of water from the Fucha brook through ICO's pollution indexes regarding land use at different times of the year are presented. The gorge is located in the town of Usme, in the urban-rural boundary. physico-chemical variables was measured in six samples and three points of the gorge, four indices of contamination (ICOMI, ICOMO, ICOSUS and ICOTRO) were calculated, these were subjected to a multivariate



correlation analysis including precipitation, it was determined the degree of correlation through simple regression for these two pairs of variables. In addition, an ANOVA was performed with the use of land and the values obtained from the indexes. No contamination mineralization and broken generally presented eutrophic conditions found a statistically significant correlation between precipitation and the rate of trophic pollution (ICOTRO) was found, and between the rate of contamination by suspended solids (ICOSUS) and ICOTRO, meanwhile land use did not show a significant correlation with the increase or decrease in the value of the indices.

**Keywords:** water quality, pollution levels, brook.

## INTRODUCCIÓN

A través del tiempo las fuentes de agua se han contaminado por actividades antrópicas, lo que ha generado un problema para las comunidades que habitan cerca de las fuentes y las poblaciones de seres humanos para las cuales tener agua en cantidad y calidad suficientes se ha convertido en un grave problema (Breña *et al.*, 2009).

A nivel nacional e internacional, se ha utilizado el estudio de parámetros fisicoquímicos y biológicos para la estimación de la calidad del agua en cuerpos hídricos, se han estandarizado metodologías para su determinación y se han caracterizado ríos, quebradas y lagos mediante su correcta aplicación (CVC, 2004).

Se han creado los índices de calidad de aguas ICA (Prat *et al.*, 1986); estos presentan algunos inconvenientes tales como integrar en un parámetro muchas variables, puesto que conlleva la pérdida de información al enmascarar valores de algunas de estas, no ser sensible a los fenómenos estacionales o no corresponder al puntaje de la calidad del agua con el grado de contaminación.

Debido a los inconvenientes presentados por los índices de contaminación (ICA) en Colombia, se desarrollaron los índices de contaminación ICO que presentan ventajas al ser más económicos por la utilización de un número menor de variables y al permitir determinar puntualmente el tipo de contaminación presentada (Ramírez *et al.*, 1997).

En Ramírez *et al.* (1997) se describen los índices en los cuales se utilizan diferentes características fisicoquí-

micas de las aguas para determinar su grado de contaminación. Estos índices surgieron a partir de la experiencia acumulada en programas de monitoreo hidrobiológicos, implementados por la industria petrolera en Colombia por más de seis años y en los resultados arrojados por estadísticas multivariadas.

Los índices se desarrollaron con base en legislaciones de diversos países, acordes con las concentraciones de las distintas variables y los usos potenciales de las aguas. "Dichos índices de contaminación (ICO) son: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, e ICOTRO o trofia del sistema" (Ramírez *et al.*, 1997).

En el río Ranchería, Romero (2012) calculó ICA e ICO en diferentes estaciones durante dos épocas climáticas, concluyendo que los ICO se constituyeron en una herramienta versátil de evaluación complementaria que desagrega las causas y valora el grado de contaminación del agua sin el riesgo de enmascarar la información.

La Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) realiza anualmente seguimiento a los ríos de la ciudad de Bogotá a través de la determinación de un ICA, estos monitoreos se han realizado desde el año 2005 y hasta 2013 (SDA, 2014), en el 2008 se llevó a cabo la novena fase de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y afluentes al recurso hídrico de Bogotá (SDA, 2008), donde se tomaron dos puntos de muestreo en la quebrada Fucha; en los estudios posteriores no se volvió a monitorear esta fuente hídrica debido a que no fue priorizada por parte de la entidad.

El presente trabajo tiene como objeto realizar una caracterización de la calidad de las aguas en la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación (ICO) con respecto a los usos del suelo y las precipitaciones, debido a que esta quebrada se va a convertir en un límite entre los componentes urbano y rural de la localidad de Usme (Bogotá, Colombia), esto implica que adicionalmente a los aportes de aguas servidas que ya recibe de barrios aledaños podría ser contaminada por los nuevos asentamientos que se desarrollen allí, es por esto que este cuerpo de agua debe ser caracterizado de manera tal que se conozca la calidad del agua de la misma, resaltando con esto su importancia y promoviendo su cuidado de cara a la realización de nuevas obras que la puedan afectar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se desarrolló en la quebrada Fucha, que se encuentra ubicada en la localidad de Usme, al suroriente de Bogotá (Colombia). La quebrada Fucha es un cauce natural de carácter perenne, que nace a los 2969 msnm, recorre una zona montañosa con una pendiente promedio del 8% hasta su desembocadura en el río Tunjuelo a 2695 msnm (EAAB, 2006). El clima en el área corresponde a frío subhúmedo (EAAB, 2000). Según lo reportado por la estación Doña Juana de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), las precipitaciones presentan un régimen bimodal, caracterizado por dos períodos de lluvia, uno en los meses de abril a junio y el segundo de septiembre a diciembre.

Las coberturas en la cuenca de la quebrada Fucha se encuentran dominadas por un mosaico de pastos y cultivos con un 74,44%; de manera posterior se hallan los bosques y arbustales que ocupan el 17,11%; en un menor porcentaje se observan las zonas urbanizadas, herbazales y arbustales de páramo abierto, canteras y finalmente las plantaciones forestales (IDECA, 2015).

### Toma de datos

Teniendo presente abarcar la totalidad de la quebrada (5 km) y el acceso a la zona, se establecieron tres puntos donde se tomaron muestras puntuales, uno al

inicio de la quebrada, otro en un punto medio y el último cerca a su desembocadura en el río Tunjuelo (figura 1), en la tabla 1 se muestra la descripción de los sitios de muestreo.

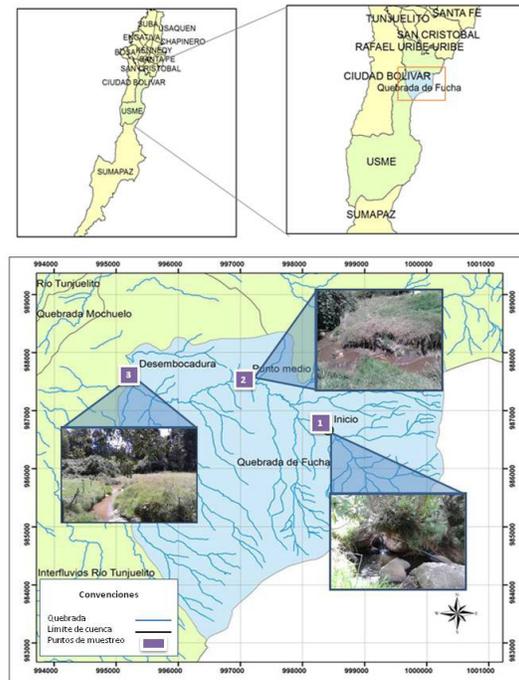


Figura 1. Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo de agua (IDECA, 2015)

Tabla 1. Descripción puntos de muestreo

Punto de muestreo	Coordenadas	Altura (msnm)	Ubicación	Coberturas y usos	Vertimientos puntuales observados
1	N 04° 28' 32,2" W 074° 05' 30,5"	2969	Cercanías a la vía al Llano, donde la quebrada comienza a tomar el nombre de quebrada Fucha.	Mosaico de pastos y cultivos.	Heces de animales
2	N 04° 29' 00,5" W 074° 06' 13,1"	2850	Cercanías al barrio El Uval y la vereda El Uval.	Zona Urbanizada.	Zona urbanizada
3	N 04° 29' 03,3" W 074° 07' 12,3"	2695	Cercanías a la avenida Usme, cerca de la desembocadura de la quebrada Fucha al río Tunjuelo.	Mosaico de pastos y cultivos.	No se observa

Se realizaron seis muestreos de agua en los tres puntos establecidos de la quebrada Fucha, en la tabla 2 se muestra la fecha de realización de los mismos y la precipitación pluvial total mensual (se toman los valores de los meses del año 2015 en la estación Doña Juana que es la más cercana a la quebrada).

**Tabla 2.** Fechas de muestreos y precipitaciones

Muestreo	Fecha	Precipitaciones (mm)
1	15 de febrero de 2015	41,1
2	22 de marzo de 2015	51,6
3	24 de mayo de 2015	25,0
4	21 junio de 2015	110,9
5	9 de agosto de 2015	22,0
6	13 de septiembre de 2015	111,0

**Fuente:** Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2015).

**Tabla 3.** Métodos para determinación de variables fisicoquímicas del agua

Variable	Unidad de medición	Técnica de análisis
Alcalinidad total	Ppm	Método volumétrico
Dureza total	Ppm	Método volumétrico
Oxígeno disuelto	Ppm	Multiparámetro HACH HQ40D
pH	Unidades	Multiparámetro HACH HQ40D
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{Cm}$	Multiparámetro HACH HQ40D
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Multiparámetro HACH HQ40D
Fósforo total	Ppm	Método colorimétrico
DBO <sub>5</sub>	Ppm O <sub>2</sub>	Método electrométrico
DQO	Ppm O <sub>2</sub>	Método del dicromato
Sólidos totales	Ppm	Método gravimétrico
Coliformes totales	NMP/100 ml	Método de sustrato definido

### Determinación de los ICO

Se realizó la determinación de los cuatro índices de Contaminación ICO utilizando el programa ICATEST V 1.0 (Fernández, *et al.*, 2003). Los índices de contaminación se caracterizaron por medio de los colores establecidos por Ramírez (1997) presentados en la tabla 4, donde se muestran las escalas de valores y colores que expresan el grado de contaminación del agua.

En campo se midieron oxígeno disuelto, pH, conductividad y temperatura del agua con un multiparámetro HACH HQ40D, así mismo, se determinaron la alcalinidad total y dureza total por medio del método volumétrico. Se estableció el caudal en cada uno de los muestreos a través del método del flotador y se identificaron por observación en campo los usos del agua y los vertimientos. Otras muestras se preservaron con hielo y se llevaron al laboratorio Analquim Ltda., donde se determinaron sólidos totales (ST), fósforo total (PT), coliformes totales, DBO<sub>5</sub> y DQO. En todos los casos se siguieron las metodologías establecidas en APHA (2012) que se resumen en la tabla 3.

**Tabla 4.** Grados de contaminación del agua

Clasificación	Escala	Color
Ninguno	0 – 0,2	
Bajo	0,2 – 0,4	
Medio	0,4 – 0,6	
Alto	0,6 – 0,8	
Muy alto	0,8 – 1	

**Fuente:** Ramírez, *et al.*, 1997.

En Ramírez (2007) se presentan las fórmulas para el cálculo de los índices de contaminación, se puede mencionar que el índice de contaminación por mineralización (ICOMI) se calculó con la conductividad, dureza y alcalinidad, el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se calculó con la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se determinó mediante la concentración de sólidos suspendidos y finalmente el índice de contaminación trófico (ICOTRO) se determinó por la concentración del fósforo total, el cual define por sí mismo una categoría discreta a saber, como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5.** Clasificación del cuerpo de agua según concentración de P total

Estado del agua	Concentración (ppm)
Oligotrófico	< 0,01
Mesotrófico	0,01-0,02
Eutrófico	0,02-1
Hipereutrófico	> 1

**Fuente:** Jiménez, 2006.

Se realizó un análisis multivariado de correlaciones entre las variables (ICOMI, ICOSUS, ICOTRO, ICOMO, precipitación y usos del suelo como variable indicador),

para determinar la existencia o no de correlación entre las variables. Los usos del suelo se determinaron teniendo en cuenta las coberturas Corine Land Cover, se les asignó un valor de 0 a la cobertura de pastos y cultivos y de 1 a la cobertura de zona urbanizada.

Posteriormente a esto, se realizó una regresión simple para los dos pares de variables en las cuales se encontró una correlación significativa, para la correlación ICOSUS-ICOMO se corrió un modelo de regresión doble inverso y para la correlación ICOTRO-PRECIPITACIÓN un modelo de regresión inverso Y cuadrado de X.

Respecto a los usos del suelo se realizó una prueba ANOVA para comparar las medias de los tres puntos de cada uno de los índices con los usos del suelo, se plantearon las siguientes hipótesis:

$$H_0 = \text{todas las medias son iguales} \rightarrow \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_a = \text{alguna media no es igual} \rightarrow \text{alguna } \mu_n \text{ es diferente}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 6 se muestran los resultados de las variables medidas en los muestreos realizados, se presenta por mes y en cada uno de estos los tres puntos establecidos, siendo el punto (1) el inicio de la quebrada, el punto (2) la parte media y el punto (3) la desembocadura.

**Tabla 6.** Resultados de las variables fisicoquímicas

Punto	Alcalinidad total	Dureza total	Saturación O <sub>2</sub>	pH	Cond.	Temp.	Fósforo total	DBO <sub>5</sub>	DQO	Sólidos totales	Coliformes totales	
	ppm	ppm	%	Unid	μS/Cm	°C	ppm	ppm O <sub>2</sub>	ppm O <sub>2</sub>	ppm	NMP/100 ml	
Febrero	1	30,24	22,5	77,33	7,16	49,8	12,7	0,1	4	43	35	61,8*10 <sup>2</sup>
	2	35,28	55	70,89	7,28	93,3	13,1	0,16	7	40	242	27*10 <sup>5</sup>
	3	20,16	30	81,15	7,23	110,4	14	0,14	6	41	250	86,7*10 <sup>4</sup>
Marzo	1	31,25	27,5	71,39	7,31	68,5	12	0,15	34	59	208	12*10 <sup>5</sup>
	2	28,12	15	78,95	7,24	71,5	14,7	0,1	6	40	130	11*10 <sup>5</sup>
	3	31,25	22,5	79,33	7,55	66,7	14,2	0,1	4	42	196	32*10 <sup>4</sup>
Mayo	1	17,5	15	71	6,44	54,2	11,6	0,16	2	48	104	18,9*10 <sup>3</sup>
	2	20	11,2	70,8	6,59	34,4	12,9	0,18	3	39	160	10*10 <sup>5</sup>
	3	22,5	12,5	61,55	6,62	44,8	14,6	0,2	5	44	316	27,2*10 <sup>3</sup>

Punto	Alcalinidad total	Dureza total	Saturación O <sub>2</sub>	pH	Cond.	Temp.	Fósforo total	DBO <sub>5</sub>	DQO	Sólidos totales	Coliformes totales	
	ppm	ppm	%	Unid	μS/Cm	°C	ppm	ppm O <sub>2</sub>	ppm O <sub>2</sub>	ppm	NMP/100 ml	
Junio	1	7,5	12,5	72,3	6,72	61,2	11,9	0,09	< 2	42	114	30*10 <sup>2</sup>
	2	12,5	20	78,43	6,85	44,3	12	0,07	4	43	328	40,8*10 <sup>4</sup>
	3	12,5	20	75,57	7,05	70,7	12,5	0,08	5	45	340	70*10 <sup>4</sup>
Agosto	1	12,5	17,5	98,6	6,6	27,8	10,8	0,1	2,01	42	40	62,2*10 <sup>2</sup>
	2	15	15	97,4	7,53	62,5	12	0,1	2,84	44	64	55,2*10 <sup>4</sup>
	3	15	17	98,1	7,8	44,5	12	0,1	2,49	43	122	11,6*10 <sup>3</sup>
Sep.	1	10	15	98,6	6,75	28	11,2	0,08	<2	44	38	49,7*10 <sup>2</sup>
	2	17,5	20	84,56	6,8	58	12,9	0,07	5	42	88	15,8*10 <sup>5</sup>
	3	15	16,2	94,83	7,75	84,2	13,2	0,07	6	41	90	17,8*10 <sup>5</sup>

Fuente: autores.

En la tabla 7 se presentan los caudales medidos en cada uno de los muestreos realizados, se muestra el mes y el caudal en m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales corresponden a los meses de mayores precipitaciones y ayudan en la explicación de los fenómenos de dilución y concentración que se presentan en la quebrada.

Tabla 7. Caudales medidos en la quebrada Fucha

Muestreo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Febrero	0,33
Marzo	0,37
Mayo	0,22
Junio	0,63
Agosto	0,38
Septiembre	0,63

La tabla 8 muestra los resultados de los cuatro índices de contaminación ICO calculados con las variables medidas en cada uno de los puntos de muestreo, se presentan por mes y por punto, así como los colores establecidos para cada uno de los valores de los ICO teniendo en cuenta que el color indica el grado de contaminación del agua.

Tabla 8. Resultados índices de contaminación del agua

Muestreo	Punto	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO
Febrero	1	0,034	0,427	0,085	Eutrófico
	2	0,092	0,611	0,7	Eutrófico
	3	0,101	0,561	0,73	Eutrófico
Marzo	1	0,053	0,762	0,604	Eutrófico
	2	0,056	0,568	0,370	Eutrófico
	3	0,051	0,771	0,568	Eutrófico
Mayo	1	0,039	0,688	0,292	Eutrófico
	2	0,021	0,525	0,460	Eutrófico
	3	0,03	0,608	0,928	Eutrófico
Junio	1	0,045	0,315	0,322	Eutrófico
	2	0,029	0,529	0,964	Eutrófico
	3	0,055	0,561	1	Eutrófico
Agosto	1	0,016	0,287	0,1	Eutrófico
	2	0,047	0,431	0,172	Eutrófico
	3	0,029	0,361	0,364	Eutrófico
Septiembre	1	0,016	0,268	0,094	Eutrófico
	2	0,042	0,531	0,244	Eutrófico
	3	0,07	0,516	0,25	Eutrófico

Se presentó correlación entre la precipitación y el ICOTRO ya que la prueba generó un P-valor de 0,019, que

al ser menor al nivel de significancia de 0,05, indica que la correlación es significativamente diferente de cero, con un nivel de confianza del 95%. También se presentó correlación entre el ICOSUS y el ICOMO, debido a un P-valor de 0,0231, con un 95% de confianza. Conociendo que existe correlación entre las variables se realizó un modelo de regresión para explicar el grado de correlación entre estas.

## ICOMI

No se presenta contaminación por mineralización en ninguno de los puntos de muestreo, ya que todos los valores de ICOMI son menores a 0,2 fluctuando entre 0,016 y 0,101. La media se encuentra muy cerca de la mediana lo que indica la homogeneidad de los ICOMI y la simetría en los valores del índice. Los máximos valores se presentaron en los puntos dos y tres y los mínimos en el punto uno.

Respecto al análisis multivariado de correlaciones se afirma que no existe ninguna relación estadísticamente significativa entre la precipitación y la contaminación mineral con un 95% de confianza.

Se presentó un P-valor de 0,27, el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05, a partir de este valor se puede afirmar que se acepta la hipótesis nula, lo que significa que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tres ICOMI con respecto a los diferentes usos del suelo (urbano y mosaico de pastos y cultivos).

A partir de lo anterior se afirma que los diferentes usos del suelo no afectan significativamente la contaminación mineral de la quebrada Fucha con un 95% de confianza. En la figura 2 se muestran los valores de los índices de contaminación mineral ICOMI en los tres puntos (inicio, punto medio y desembocadura) y los meses de muestreo).

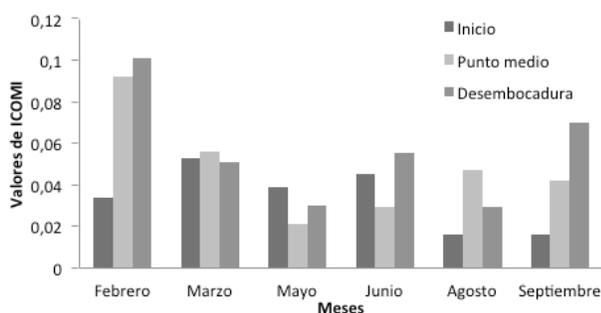


Figura 2. Valores de ICOMI

Los valores de ICOMI no fueron significativos para hablar de contaminación mineral, debido a que se encontraron por debajo de 0,2, adicionalmente se vieron influenciados por la conductividad eléctrica ya que la dureza total y la alcalinidad total fueron muy bajas.

Aunque no fueron significativos para hablar de contaminación mineral, los valores de ICOMI se vieron influenciados por la conductividad eléctrica ya que la dureza total y la alcalinidad total fueron muy bajas, esto puede asociarse a los sólidos disueltos (iones  $\text{PO}_3^{3-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) presentes en el agua, que por medio de escorrentía y vertimientos puntuales han sido llevados a la quebrada.

Respecto a la dureza, las aguas de la quebrada Fucha son blandas ya que presentaron valores de entre 0 y 75 mg/l en los puntos de muestreo en las diferentes épocas, como lo reporta Roldán (2008).

Los valores de alcalinidad total, dureza total y conductividad, en los tres puntos son menores al límite permitido en la Resolución 2115 de 2007 (alcalinidad total: 200 mg/l, dureza total: 300 mg/l y conductividad menor a 1000  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ), lo que indica que con respecto a la mineralización el agua sería apta para el consumo humano.

## ICOMO

Como se observa en la figura 4 el promedio del índice se encuentra entre 0,4 y 0,6 lo que indica que hay una contaminación por materia orgánica media en toda la quebrada, en el punto uno hay dispersión en la distribución de datos y presenta asimetría positiva ya que la mediana se acerca al primer cuartil, lo que nos indica que el punto uno presentó valores de contaminación por materia orgánica desde baja a media.

La máxima y la mínima contaminación por materia orgánica se presentaron en el punto uno. En los puntos dos y tres la mediana está muy cercana a la media aritmética, lo que demuestra la homogeneidad del valor del índice y que no se presenta ninguna asimetría ni datos atípicos.

Respecto al análisis multivariado de correlaciones se afirma que no existe ninguna relación estadísticamente significativa entre la precipitación y la contaminación por materia orgánica con un 95% de confianza, con lo que se deduce que la contaminación por materia orgánica es debida a vertimientos en la quebrada.

Se presentó un P-valor de 0,78, el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05, a partir de este valor se puede afirmar que se acepta la hipótesis nula, lo que significa que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tres ICOMO con respecto a los diferentes usos del suelo en cada punto con un nivel de confianza del 95%. A partir de lo anterior se afirma que los diferentes usos del suelo no afectan significativamente la contaminación por materia orgánica de la quebrada Fucha con un 95% de confianza.

En la figura 3 se muestran los valores del índice ICOMO o de contaminación orgánica en los tres puntos de muestreo y en diferentes épocas del año, los valores del índice fluctúan entre 0,26 y 0,8, lo que indica que existe contaminación por materia orgánica desde baja a media.

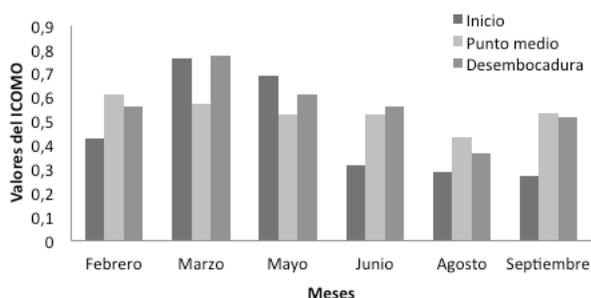


Figura 3. Valores de ICOMO

El valor más alto del ICOMO se presentó en marzo en el punto inicial y en la desembocadura de la quebrada, el cual se vio influenciado por un valor de coliformes totales de  $12 \cdot 10^5$  NMP/100 ml y  $32 \cdot 10^4$  NMP/100 ml respectivamente, en los tres puntos de la quebrada en todos los muestreos el valor del ICOMO fue aumentado por los coliformes totales y en baja medida por la  $DBO_5$ . Por su parte el valor del ICOMO más bajo fue de 0,268 que indica baja contaminación por materia orgánica, este valor fue en el inicio de la quebrada en el mes de septiembre.

En el inicio de la quebrada el alto nivel de coliformes totales puede ser debido a que en esta estación hay descargas puntuales de heces de ganado por la presencia de actividad pecuaria, en el punto dos el incre-

mento de los coliformes es debido posiblemente a las aguas servidas de población aledaña.

Se sabe que los coliformes son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, lo que imparte un grado de contaminación microbiológica a la quebrada por lo que eleva los valores del índice, además, al aumentar la cantidad de materia orgánica por vertimientos y escorrentía también aumentan los coliformes totales y por ende disminuye el oxígeno disuelto, lo cual eleva aún más el valor del ICOMO (Arcos *et al.*, 2005).

### ICOSUS

La media de los tres puntos se encuentra entre 0,25 y 0,65, lo que indica que las aguas de la quebrada Fucha presentan contaminación por sólidos suspendidos de baja a media, aunque se observan valores de contaminación muy alta (valor de 1) y alta (valores de 0,8 a 1), también hay valores de ninguna contaminación (menores de 0,2), los cuales ajustan el promedio dando una generalidad de contaminación media por sólidos suspendidos en las aguas de la quebrada Fucha.

El punto uno muestra la homogeneidad de los datos y que se encuentran muy cercanos entre sí, el promedio fue sesgado un poco hacia la derecha debido a un valor de 0,63, que aunque es mayor que los otros, no es atípico porque se encuentra en el límite superior del gráfico, en general no se presentan asimetrías. La menor contaminación por sólidos suspendidos se encontró en este punto.

El punto dos presenta una asimetría positiva lo que indica que la mayoría de los datos se encuentran en los cuartiles uno y dos. En cuanto al punto tres se observa que presenta su mediana muy cerca de la media aritmética mostrando homogeneidad de sus datos y que en este punto se dio la máxima contaminación por sólidos suspendidos.

Respecto al análisis multivariado de correlaciones se afirma que no existe ninguna relación estadísticamente significativa entre la precipitación y la contaminación por sólidos suspendidos con un 95% de confianza, con lo que podemos deducir que la contaminación por sólidos suspendidos es debida a vertimientos antrópicos en la quebrada, además no se presenta erosión evidente que relacione la precipitación con el arrastre de sólidos a la misma.

Respecto a los usos del suelo se realizó una prueba ANOVA para comparar las medias de los tres puntos de ICOSUS, la cual produjo un P-valor de 0,0723, a partir de este valor se puede afirmar que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tres ICOSUS con respecto a los diferentes usos del suelo en cada punto con un nivel de confianza del 95%. A partir de lo anterior, se afirma que los diferentes usos del suelo no afectan significativamente la contaminación por sólidos suspendidos de la quebrada Fucha con un 95% de confianza.

En la figura 4 se muestra el índice ICOSUS o de contaminación por sólidos suspendidos en los tres puntos de muestreo y en diferentes épocas del año, los valores del índice fluctúan entre 0,085 y 1, lo que indica que existe contaminación por materia orgánica desde ninguna a muy alta.

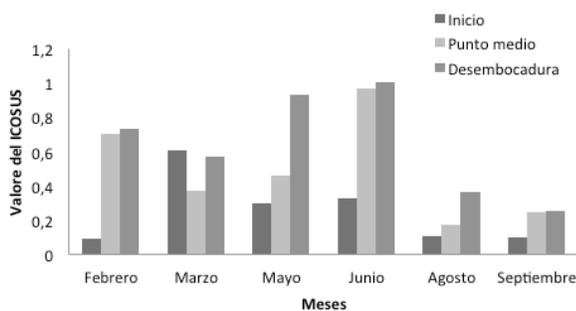


Figura 4. Valores ICOSUS

El grado de contaminación por sólidos suspendidos aumenta hasta el tercer punto de muestreo, presentando una baja contaminación al inicio de la quebrada y alcanzando una muy alta contaminación en el tercer punto.

En el mes de junio en el punto medio y la desembocadura se presentan los máximos niveles de contaminación de ICOSUS en la quebrada, reflejados en un valor del índice de 0,96 y 1 respectivamente, ya que en estas estaciones de muestreo se presentan concentraciones de sólidos suspendidos mayores a 340 mg/l, siendo este valor el límite a partir del cual el índice toma siempre el valor de 1.

Esto explicado por el máximo caudal medido de 0,63m<sup>3</sup>/s y una precipitación de 110,9 mm lo cual

puede asociarse al aumento en el arrastre de partículas del suelo erosionado debido a actividades tales como la ganadería en zonas de ladera y la minería (IDECA, 2015), además, los meses anteriores fueron de poca pluviosidad (de 22 a 25 mm) lo que conlleva a que el suelo usado en actividades agrícolas y urbanas posea poca capacidad de infiltración y aumente la erosión hídrica, llevando consigo el aumento en el arrastre de partículas del suelo causado por el limado del microrrelieve del terreno y acrecentando significativamente el valor del ICOSUS.

En cambio, en septiembre se presentó la máxima precipitación de 111 mm y un caudal de 0,63m<sup>3</sup>/s, en el que se reportaron los mínimos valores del índice en los tres puntos, este comportamiento está asociado a la precipitación ya que como se mostró en junio, se arrastró gran cantidad de sólidos a la quebrada, en el transcurrir de solo dos meses no había suficientes sólidos disponibles para ser llevados por escorrentía a la misma lo que generó un fenómeno de dilución que llevó consigo a una disminución drástica del índice, ya que en la quebrada no hay indicios de erosión evidente.

Según la CVC (2004), en términos generales el comportamiento del ICOSUS se asocia al arrastre y resuspensión de sólidos debido a las altas velocidades del flujo que son típicas en quebradas de montaña. Se observa que las concentraciones de sólidos a lo largo de todo el tramo están por debajo del promedio que se presenta en varios ríos del mundo (incluidos varios de Suramérica) reportado por CVC (2004), 110 mg/l con excepción del período de lluvia en junio.

## ICOTRO

El promedio del ICOTRO de los tres puntos se encuentra entre 0,11 y 0,12 lo que indica que la quebrada exhibe procesos de eutrofización en los tres puntos de muestreo, la mediana en los tres puntos de muestreo se encuentra a la izquierda de la media aritmética, lo cual significa una leve asimetría positiva.

El ICOTRO fue el único índice que mostró correlación con la precipitación en el análisis multivariado, al correr el modelo de regresión inverso Y cuadrado de X, el cual explicaba mejor la relación entre las variables, la regresión presentó un coeficiente de correlación de Pearson de -0.81 y un R<sup>2</sup> coeficiente de determinación: 65,4%.

El estadístico  $R^2$  o coeficiente de determinación indica que la precipitación demuestra en un 65,4% la variabilidad de la contaminación trófica y el coeficiente de correlación de Pearson, indicando una relación inversa moderadamente fuerte entre las variables.

La figura 5 muestra el modelo de correlación entre la precipitación y el ICOTRO que se construyó a partir de la ecuación:

$$\text{ICOTRO} = 1/(7.4476 + 0.00046294 * \text{precipitación}^2) \quad (1)$$

Muestra que valores altos de precipitación explican valores bajos de ICOTRO.

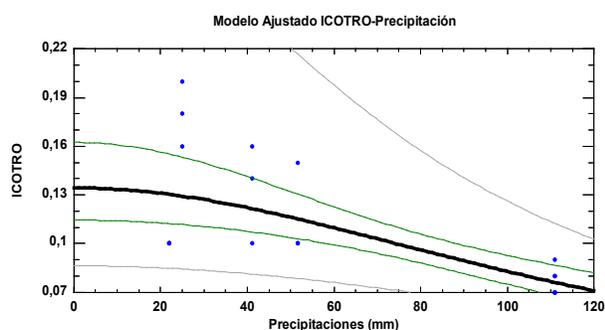


Figura 5. Modelo ajustado de Precipitación-ICOTRO

Por lo anterior se puede interpretar que en los muestreos con alta precipitación la contaminación trófica será menor y viceversa. La figura 6 muestra los valores del índice de contaminación trófica entre los tres puntos de muestreo y los diferentes meses en los cuales se realizaron los muestreos.

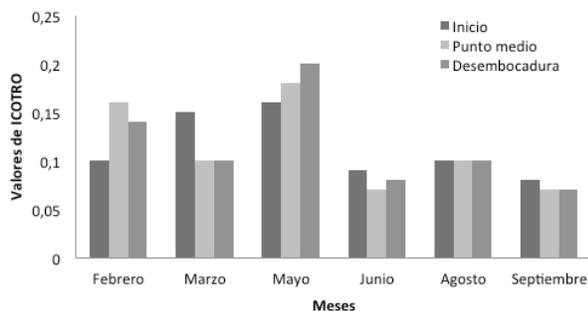


Figura 6. Valores de ICOTRO

El comportamiento del fósforo total a lo largo de las estaciones de monitoreo es mayor a 0,01 ppm, ya que presenta una fluctuación de entre 0,1 y 0,2 ppm, lo que indica que la quebrada en todos los puntos de monitoreo es eutrófica.

Con respecto al ICOTRO, se presentó el mayor incremento en el índice en la desembocadura en el mes de mayo toda vez que se reportó una precipitación de 25 mm y un caudal de 0,22 m<sup>3</sup>/s el cual fue el menor durante el estudio. Este comportamiento puede deberse a la disminución en la capacidad de dilución en el río asociada con la disminución del caudal. En condiciones de máximas precipitaciones (111 mm), se reportaron los valores más bajos del índice. Estos se debieron al fenómeno de dilución.

Los valores del ICOTRO fueron principalmente influenciados por los fertilizantes a base de fósforo utilizados en los cultivos aledaños a la quebrada, al arrastre de material por lavado de los suelos y a las descargas de aguas residuales domésticas de algunos asentamientos urbanos localizados en esta zona.

Además de la deforestación y la erosión, los suelos agrícolas influyen debido a la carga de nutrientes, debido a que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección lavan la capa fértil llevándose consigo los nutrientes de la misma, en este caso, a la quebrada (RAPAL, 2010).

### Correlación ICOSUS-ICOMO

En el análisis multivariado de correlaciones el ICOSUS y el ICOMO presentaron una correlación diferente de cero. Para comprobarlo se corrió un modelo de regresión doble inverso, el cual explica mejor la relación entre las variables, la regresión presentó un coeficiente de correlación de Pearson de 0,7 y un  $R^2$  coeficiente de determinación de 49%.

El estadístico  $R^2$  o coeficiente de determinación, indica que el ICOSUS demuestra un 49% la variabilidad de la contaminación por materia orgánica y el coeficiente de correlación de Pearson indica una relación moderadamente fuerte entre las variables.

La figura 7 muestra el modelo de correlación entre el ICOSUS y el ICOMO que se construyó a partir de la siguiente ecuación, la cual se originó como resultado del modelo de regresión doble inverso que se corrió:

$$ICOMO = 1/(1.55298 + 0.145645/ICOSUS) \quad (2)$$

Muestra que para valores altos de ICOSUS ya no es posible explicar el ICOMO, por esta razón lo demuestra solo el 49%.

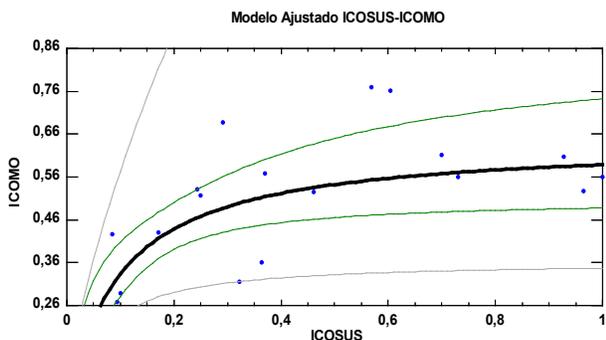


Figura 7. Modelo ajustado ICOSUS-ICOMO

Respecto a la correlación, se sabe que los sólidos suspendidos totales (SST) están constituidos por sólidos sedimentables y materia orgánica e inorgánica en suspensión y/o coloidal. Esta materia orgánica aumenta la DBO<sub>5</sub> y disminuye el oxígeno disuelto, además de que la materia orgánica puede poseer coliformes, lo que indica cómo el ICOSUS demuestra un 49% el ICOMO.

**Descripción del pH**

Aunque el pH no hace parte de las variables que conforman los índices calculados, se midió debido a que es una de las variables más contundentes para evidenciar la afectación de las aguas por actividades humanas como derrames químicos, efluentes de aguas residuales, drenajes agrícolas y de aguas lluvias debido a sus diversos valores e interpretación.

Como se observa en la figura 8, en los tres puntos de muestreo el promedio de pH fue de 7,05± 0,43 unidades de pH, lo que indica que el promedio de valores de pH se encuentra en el rango de la neutralidad, con una baja variabilidad.

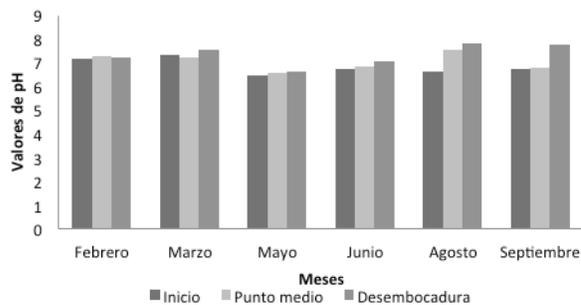


Figura 8. Valores de pH

El valor mínimo de pH fue de 6,44. Estos mínimos se presentaron en el mes de mayo en los tres puntos de muestreo, en el que se reportó una precipitación de 25 mm y un caudal de 0,22 m<sup>3</sup>/s, los cuales son los valores más bajos de precipitación y caudal en todos los muestreos realizados en la quebrada. Estos valores de pH pueden explicarse ya que al no haber efecto de dilución aumenta la concentración de ácidos orgánicos (ácidos húmicos) que permitirán bajar progresivamente el valor del pH.

El máximo valor fue de 7,8 en la desembocadura en el mes de septiembre, lo que muestra que el rango fue de 1,36 unidades de pH, que no se presentaron cambios drásticos del pH y que tampoco se presentó ninguna relación significativa con la precipitación.

**Relación DBO<sub>5</sub>/DQO**

Aunque la DQO no hace parte de ningún índice fue importante medirla para efectuar la comparación con la DBO<sub>5</sub>, lo cual permite entender la naturaleza de la materia orgánica presente en la quebrada. A continuación se presenta la figura 9 que muestra la relación DBO<sub>5</sub>/DQO.

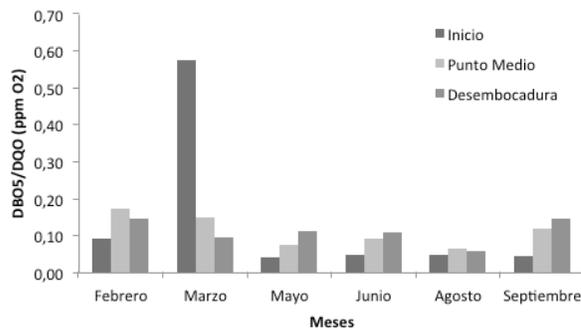


Figura 9. Relación DBO<sub>5</sub>/DQO

Al dividir la  $DBO_5$  entre la DQO, se presenta un valor menor de 0,3 en casi todos los monitoreos en todos los puntos de muestreo, lo que indica que hay presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable (Orozco *et al.*, 2005); solo se presenta una excepción en el mes de marzo en el inicio de la quebrada, con un valor cercano a 0,6, aunque este valor es alto comparado con los otros, continúan predominando los contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable.

Lo anterior es debido a la amplia variedad de compuestos químicos orgánicos bastante complejos y resistentes a la degradación biológica, provenientes de aguas servidas y agropecuarias que son vertidas en el recorrido de la quebrada, estos en su gran mayoría son compuestos aromáticos, fertilizantes y plaguicidas, los cuales se excluyen de la posibilidad de ser biodegradables debido a su gran complejidad química (Ardila, 2010), adicionalmente no se muestra un cambio significativo en la relación  $DBO_5/DQO$  en las diferentes épocas del año.

### Identificación de usos del agua

En los muestreos realizados en la quebrada Fucha se evidenció el uso de sus aguas para riego de cultivos en la parte alta y media. Cerca de la desembocadura se demostró el uso de esta agua para lavar carros y para el ganado que se acercaba a la quebrada a beber.

### Identificación de vertimientos

Se constató que la quebrada recibe vertimientos con estiércol de fincas en su parte inicial, posteriormente a su paso por el punto medio se presentan asentamientos urbanos que hacen vertimientos a la quebrada, la percepción de esta en este punto por parte de la comunidad es que está contaminada. La quebrada a través de su recorrido recoge por escorrentía agroquímicos de los diferentes cultivos que se siembran en la zona.

## CONCLUSIONES

La quebrada Fucha presenta en todos sus puntos de muestreo en el período del año 2015 una contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) de media a alta y una contaminación media por materia orgánica (ICOMO), así mismo se observa que la quebrada no presenta contaminación por mineralización (ICOMI) y

exhibe concentraciones de fósforo que denotan condiciones eutróficas (ICOTRO).

No se presentó ninguna correlación estadísticamente significativa entre la precipitación y los índices de contaminación por materia orgánica (ICOMO), mineralización (ICOMI) y sólidos suspendidos (ICOSUS), por el contrario, el índice de contaminación trófica (ICOTRO) sí fue explicado por la precipitación en un 64%.

Los usos del suelo no presentaron una correlación significativa con el aumento o disminución en el valor de los índices de contaminación debido a que el 78% de la cuenca de la quebrada Fucha presenta la misma cobertura (mosaico de pastos y cultivos), lo que conlleva a que no haya una variabilidad significativa en el uso del suelo que influya directamente en los niveles de contaminación de la quebrada.

El promedio de valores de pH se encuentra en el rango de la neutralidad y cuenta con una baja variabilidad, los menores valores pueden explicarse por disminución de las precipitaciones ya que al no haber efecto de dilución aumenta la concentración de ácidos orgánicos (ácidos húmicos) que harán bajar progresivamente el valor del pH.

La relación  $DBO_5/DQO$  indica que hay presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable debido a la amplia variedad de compuestos químicos orgánicos bastante complejos y resistentes a la degradación biológica, provenientes de aguas servidas y agropecuarias que son vertidas en el recorrido de la quebrada, estos en su gran mayoría son compuestos aromáticos, fertilizantes y plaguicidas, los cuales se excluyen de la posibilidad de ser biodegradables debido a su gran complejidad química.

## REFERENCIAS

- Apha (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22d edition.
- Arcos, M., Ávila, S., Estupiñán, S. & Gómez., A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA*, 3(4), 69-79.
- Ardila, A. (2010). *Degradación fotocatalítica de materia orgánica no biodegradable presente en efluentes de la industria farmacéutica*. México.

- Breña, A. & Breña, J. (2009). *Problemática del recurso agua en grandes ciudades: zona metropolitana del valle de México*. UAM-I, Depto. de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC. (2004). Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y de contaminación, tramo Salvajina-La Virginia, convenio interadministrativo 0168. Santiago de Cali, Colombia.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-EAAB. (2000). Elaboración de los diseños definitivos detallados, para la construcción de las obras de adecuación, control de crecientes y descontaminación a través de interceptores, colectores, para todas las quebradas de la parte sur oriental de Santafé de Bogotá D. C., incluidas en las localidades de Santa Fe, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Usme.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-EAAB. (2006). Consultoría para el diseño de un sendero de interpretación ecológica, como propuesta de educación ambiental y de rehabilitación ecosistémica de la quebrada Fucha.
- Fernández, N., & Solano, F. (2005). Índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICO) del agua de importancia mundial, Pamplona. Universidad de Pamplona.
- IDECA (2015). Capas de coberturas de la ciudad de Bogotá. Disponible en: <http://www.ideca.gov.co/>
- Jiménez, M. A. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en recursos hídricos*, 14, 53-54.
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., et al. (2005). *Contaminación ambiental, una visión desde la química*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Prat, N., González, G. & Millet, X. (1986). Comparación crítica de dos índices de calidad del agua: ISQA y BJLL. *Tecnología del Agua*, 31, 33-49.
- Ramírez, A., Restrepo, R. & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y Aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro* 1(3), 135-153.
- RAPAL (2010). *Contaminación y eutrofización del agua, impactos del modelo de agricultura industrial*. Uruguay: Rapal.
- Roldán, G. & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia. Segunda edición. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Romero, F. (2012). Selección e implementación de un índice de calidad del agua ICA o de contaminación ICO para la cuenca del río Ranchería en el departamento de La Guajira. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez Susa, M. S., Sanabria, Porras, L., et al. (2014). *Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2012-2013)*. Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente – SDA, Universidad de los Andes, 231 pp. Disponible en: [http://www.ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=0829554d-8eca-44a9-835d-3ae15d69f268&groupId=3564131](http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=0829554d-8eca-44a9-835d-3ae15d69f268&groupId=3564131)
- Secretaría Distrital de Ambiente -SDA. (2008). Novena fase de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y afluentes al recurso hídrico de Bogotá, Convenio 020 de 2008 entre la SDA y la EAAB.

# Diversidad de coleópteros en un bosque alto andino del municipio de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá)

Humberto Bohórquez Salazar, Sandra Mireya Buitrago Burgos,  
Jaime Ricardo Cristancho Chinome, Jairo Robles Piñeros,  
Milena Paola Mendieta, Gloria Leonor Gutiérrez Gómez\*

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias de la Educación, Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Grupo de Estudios en Ecología, Etología, Educación y Conservación Gecos. Avenida Central del Norte N° 39-115, Tunja. Colombia.

\*Autor para correspondencia: [gloria.gutierrez@uptc.edu.co](mailto:gloria.gutierrez@uptc.edu.co)

## RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un estudio desarrollado en el municipio de Santa Rosa de Viterbo, ubicado a 2750 msnm, en un relicto de bosque húmedo montano bajo (bh-M). Dicho estudio tuvo como finalidad identificar la diversidad y riqueza de entomofauna referida al orden Coleóptera, en los predios de la Escuela de Policía Rafael Reyes (ESREY). Es importante señalar que este es el primer estudio de este tipo realizado en la zona.

Se reportan un total de 270 individuos capturados pertenecientes a 17 familias, 25 subfamilias, 30 tribus y 44 géneros; siendo Coccinellidae la familia más representativa (19,3%) y Dryophthoridae la familia menos representativa (0,4%). Vale la pena mencionar que, según lo reportado por Martínez (2005), no se encuentran registros de ningún género de Carabidae en el municipio, por lo que se puede destacar que los resultados publicados en este artículo son los primeros registros para Santa Rosa de Viterbo. Así mismo, la revisión de Medina, Lopera-Toro, Vitolo & Gill, (2001) sobre escarabajos coprófagos de Colombia indica que los géneros encontrados en este estudio no se registran a una altitud mayor a 2600 msnm por lo que se puede reportar un registro altitudinal para *Canthon* y *Dichotomius*

Finalmente, en el artículo se presentan los resultados de un proceso de educación desarrollado con niños de grado quinto de primaria de una institución educativa del municipio y con los semilleros de investigación de la ESREY, proceso que fue diseñado como estrategia para promover la apropiación social de conocimiento y divulgación de los resultados del trabajo.

**Palabras clave:** diversidad, coleópteros, educación, estrategia pedagógica, bosque alto andino.

**Editor:** Hernández Fernández, J.  
[javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

**Received:** Abril 18, 2016. **Accepted:** Junio 25, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

**Citation:** Bohórquez-Salazar, H., Buitrago-Burgos, S.M., Cristancho-Chinome, J.R. Robles-Piñeros, J., Mendieta, M.P. & Gutiérrez-Gómez, G.L. (2016). Diversidad de coleópteros en un bosque alto andino del municipio de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá). *Mutis* 6(2), 32-46, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1149>

**Copyright:** ©2016 Bohórquez-Salazar, H., Buitrago-Burgos, S.M., Cristancho-Chinome, J.R. Robles-Piñeros, J., Mendieta, M.P. & Gutiérrez-Gómez, G.L. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Competing Interests:** The authors have no conflict of interest.



## Diversity of coleoptera in a high forest Andean in the municipality of Santa Rosa de Viterbo (Boyacá)

### ABSTRACT

This article presents the results of a study conducted in the municipality of Santa Rosa de Viterbo, located at 2750 meters above sea level, in a relict humid montane forest under (bh-M). This study aimed to identify the diversity and richness of Coleoptera order entomofauna referred to in the grounds of the School of Police Rafael Reyes (ESREY). It is important to note that this is the first study of its kind in the area.

A total of 270 individuals captured belonging to 17 families, 25 subfamilies, 30 tribes and 44 genera are reported; Coccinellidae being the most representative (19.3%) and less representative Dryophthoridae the family (0.4%) family. It is important to note that, as reported by Martínez (2005), no records of any kind of Carabidae in the municipality are, so it can be noted that the results published in this article are the first records for Santa Rosa de Viterbo. Also the review of Medina, Lopera-Toro, Vitolo & Gill (2001) on dung beetles of Colombia indicate that genera found in this study are not recorded at a higher altitude to 2,600 meters so you can report altitudinal record for *Canthon* and *Dichotomius*

Finally, the article presents the results of an education process developed with children in fifth grade of an educational institution of the municipality and the hotbeds of research ESREY, a process that was designed as a strategy to promote social appropriation of present knowledge and dissemination of the results of work.

**Keywords:** diversity, coleoptera, education, educational strategy, high andean forest.

### INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con una invaluable riqueza natural, ocupa el segundo lugar entre los doce países con mayor diversidad biológica del mundo después de Brasil y es uno de los once países que todavía conservan extensas superficies de su bosque original relativamente libre de amenazas. Esto significa que, en dichos

ecosistemas, los procesos naturales biológicos y evolutivos continuarán generando y manteniendo la biodiversidad de la que todos dependemos (Mittermeier, 1997). Por ello, el conocimiento de la biodiversidad requiere considerar los diferentes niveles jerárquicos de la organización de la vida (genes, especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas), junto con sus atributos de composición, estructura y funcionalidad (Noss, 1990).

En el grupo de los insectos, los coleópteros constituyen el grupo más amplio y más diverso (Morón & Terrón, 1988; Halffter & Favila 1993; Vogt & Dirzo, 1997), se han descrito alrededor de 358.000 especies (Costa 2000), lo cual corresponde aproximadamente al 40% del total de insectos. Los coleópteros, por su gran riqueza y diversidad ecológica, constituyen buenos indicadores de la biodiversidad de un territorio (Morrone & Ruggiero, 2001) pues están asociados con las formaciones vegetales donde actúan como depredadores, herbívoros, polinizadores o descomponedores de materia orgánica y presentan rangos de distribución restringidos (Jerez, 2000).

Los coleópteros conforman un grupo ideal para el estudio de la diversidad biológica, sin embargo, diferentes experiencias demuestran que, en el ámbito educativo, los insectos y particularmente los coleópteros, son un buen grupo para establecer estrategias didácticas para la enseñanza de la biología y las ciencias en general, para la sensibilización, reconocimiento, valoración y conservación de la diversidad biológica (Pulido & Riveros, 2001; Yara, 2002; Vargas, 2011). Para que dichas estrategias promuevan eficazmente el aprendizaje, estas tienen que vivenciarse, es decir, es necesario que los participantes puedan reconocer y comprender los fenómenos que la naturaleza presenta involucrando todos sus sentidos; solo de dicha forma se conseguirá despertar la relación empática que logrará despertar en cada individuo el sentido de pertenencia y apropiación necesarias para contribuir a conservar y usar de manera sustentable todo aquello que nos rodea (Medina & Gutiérrez, 2014).

Por tal razón, el presente estudio no solo se centró en la realización de un inventario de biodiversidad, pues a través del diseño de actividades educativas, se propuso involucrar a un grupo de semilleros de investigación de la Escuela de Policía Rafael Reyes, con el doble propósito de desarrollar habilidades para la investigación y promover la apropiación

social de conocimiento sobre la importancia de la biodiversidad partiendo del interés que un grupo tan diverso pudiese despertar. Así mismo, el estudio hizo un proceso de proyección social hacia la comunidad educativa de la zona, a partir de la interacción de los investigadores con niños de grado quinto de primaria, usando el taller como estrategia fundamental.

Además de promover el conocimiento de su entorno, la estrategia tuvo como propósito incentivar el interés por el aprendizaje de las ciencias naturales en contexto, es decir, que los niños pudiesen extrapolar y aplicar los conceptos y saberes adquiridos, teniendo claro el papel de dichos individuos (escarabajos) y su importante rol en los ecosistemas, dejando de lado el concepto subjetivo y antropocéntrico que los categoriza como plagas o vectores de enfermedades. Lo anterior partiendo del hecho de que la educación y en particular la enseñanza de las ciencias naturales es un proceso de culturización social, que trata de conducir a los estudiantes más allá de las fronteras de su propia experiencia con el fin de familiarizarse con nuevos sistemas de explicación, nuevas formas de lenguaje y nuevos estilos de desarrollo de conocimientos (Hogan & Corey, 2001).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Teniendo en cuenta que el trabajo de investigación planteaba dos problemáticas de conocimiento diferentes, estas fueron abordadas desde el paradigma crítico-social desde un enfoque mixto puro (Hernández, 2003), pues el componente biológico del proyecto fue abordado siguiendo las metodologías cuantitativas que se han diseñado para el inventario de especies animales (coleópteros) y el pedagógico fue abordado desde el enfoque cualitativo siguiendo la metodología de la investigación-acción (Kemmis & McTaggart, 1988). La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales (Hernández Sampieri, 2003). Lo anterior como resultado de la integración de disciplinas como la biología y la pedagogía que ha motivado al campo científico y social a consolidar acciones que contribuyan al mejoramiento de la investigación abriendo las posibilidades para nuevos estudios y de esta manera contar con una mejor calidad y aplicabilidad de los resultados obtenidos.

Para el desarrollo del componente pedagógico, se seleccionaron 12 estudiantes del grupo de investigación de la Escuela de Policía, con un promedio de edades de entre 20 y 30 años; el muestreo fue intencional, teniendo en cuenta el interés y disponibilidad que demostraron los participantes en el taller de inducción. Por otra parte, en las instituciones educativas, los participantes fueron seleccionados por conveniencia, pues se escogieron los 30 estudiantes de grado quinto de la institución educativa, con un promedio de edades de entre diez y catorce años. La conveniencia de la muestra estuvo determinada por el hecho de encontrarse en una edad en la que las habilidades científicas se desarrollan fácilmente y su interés por descubrir el mundo que les rodea puede facilitar el aprendizaje de situaciones que pueden determinar su relación con el ambiente en el futuro. A dicha edad debe privilegiarse en la escuela la observación directa de todo aquello que se encuentra en el contexto, explorando y situando el mundo sensorial en función de las preocupaciones del mundo contemporáneo (Daza & Quintanilla, 2011), pues son ellos quienes tendrán que enfrentarse a situaciones problemáticas diversas e intentar resolverlas.

Así, se diseñaron una serie de actividades y talleres cuyo propósito inicialmente fue reconocer los saberes previos de los niños y jóvenes para, a partir de esto, reconstruir el saber tras un proceso de conceptualización y reflexión, y así posteriormente poner en práctica en campo tales saberes, reconociendo la integralidad del ambiente y el papel protagónico que el hombre juega como parte fundamental de este.

Por otra parte, el componente biológico se desarrolló en tres fases o momentos:

**Fase I: Reconocimiento de las zonas.** Se identificaron y describieron tres zonas demarcadas por factores geomorfológicos y paisajísticos, las cuales fueron tipificadas como, zona uno: asentamiento humano (AH), considerando que es la zona de mayor actividad en la Escuela y que por lo tanto está muy influenciada por la presencia antrópica; zona dos: bosque maderable (BM), está representada por un bosque con especies de árboles plantados (pino, eucalipto y acacia) y la zona tres: matorral nativo (MN), que es una zona de gran extensión y uno de los pocos relictos de bosque andino que conserva el municipio.

**Fase II: Trabajo de campo.** Se realizaron 27 salidas de campo en los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto de 2013, cada zona señalada (AH, BM y MN) fue muestreada una vez al mes durante un período de 2 días. Los horarios de muestreo se extendían desde las 5:00 a. m. hasta las 12:00 m. y desde las 2:00 p. m. hasta las 9:00 p. m., para un esfuerzo de muestreo de 14 h/día y un total de 378 horas de muestreo por persona. Se utilizaron tres clases de muestreo: trampas de caída con excremento humano, agitación de follaje y colecta manual.

**Fase III: Trabajo de laboratorio.** Los especímenes fueron llevados al laboratorio donde se montaron en alfileres entomológicos teniendo en cuenta la información relacionada para cada uno (fecha, número de la muestra, nombre del colector y zona de colecta). Para la identificación se utilizaron claves e ilustraciones taxonómicas de Borror & White 1989; Morrone J., 1996; White, 1998; Medina & Lopera-Toro 2000; Gomez & Savini, 2001; Moret 2003; Chaote, 2003; Martínez 2005; Aguirre-Tapierio, 2009; y la confirmación de especies fue hecha por el docente investigador Jairo Robles.

El análisis de datos cuantitativos fue realizado con los programas EstimateS 6.0 (versión libre) y Past3 y el de los cualitativos con el programa Atlas/Ti versión 6.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Componente biológico

En total se capturaron 270 individuos pertenecientes a 17 familias, 25 subfamilias, 30 tribus y 44 géneros. Como puede apreciarse en la figura 1, la familia que presentó un mayor número de individuos colectados fue Coccinellidae ( $n = 52$ ), seguida de Carabidae ( $n = 51$ ) y Scarabaeidae ( $n = 43$ ), por otra parte, las familias que presentaron un menor número de individuos capturados fueron: Silvanidae ( $n = 1$ ), Lycidae ( $n = 1$ ) y Dryophthoridae ( $n = 1$ ) entre otras. El método con mayor índice de captura fue definitivamente el método de captura manual con el cual se obtuvieron 214 individuos correspondientes al 79,3%, seguido por las trampas de caída con excremento humano en las cuales se colectaron 34 individuos (12,6%) y la agitación de follaje, método con el que se colectaron 22 individuos (8,1%).

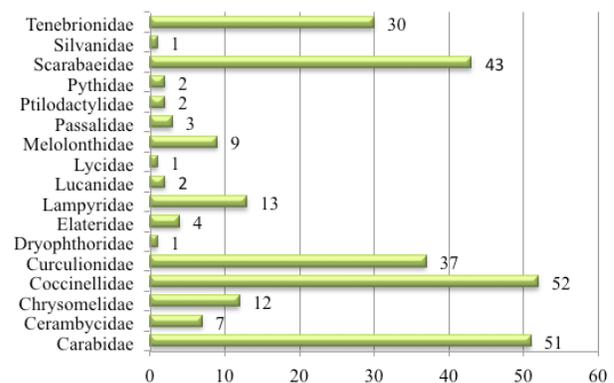


Figura 1. Número de individuos colectados por familia

Tras analizar el número de individuos colectados por zona de estudio, puede observarse que en la zona 2 (BM) se obtuvo un mayor número de muestras con un total de 111 individuos, que corresponde al 41,1%, seguida de la zona 3 (MN) con 87 individuos que corresponden al 32,2% y finalmente la zona 1 (AH) con 72 individuos lo cual arroja un 26,6% del total de ejemplares colectados durante los muestreos (figura 2). En esta gráfica ya se observa la importancia de generar acciones en torno al relicto de bosque nativo, pues fue la zona de muestreo con un mayor número de capturas. Sumado a esto se encuentra el hecho de que las familias más abundantes (figura 1) son de gran importancia para el desarrollo de estudios en el futuro en la zona, pues los individuos de la familia Coccinellidae son reconocidos por su gran utilidad para la agricultura ya que tanto en su etapa adulta como larvaria son grandes depredadores de insectos herbívoros por lo que son utilizados para el control de importantes plagas agrícolas (Zúñiga, 2011; Morón & Terrón, 1988), desafortunadamente son muy pocos los estudios que al respecto existen; la familia Carabidae es uno de los grupos de coleópteros más grandes en el mundo, suelen ser depredadores y se caracterizan por ocupar una gran variedad de hábitats (Erwin, 1991), a diferencia de la familia anterior (Coccinellidae), es uno de los taxones mejor estudiados debido a su diversidad, larga historia evolutiva, amplio espectro de comportamiento y sensibilidad a cambios ambientales (Thiele, 1977), razón por la que han sido utilizados en estudios de fragmentación y monitoreo de hábitats (Davies & Margules, 1998).

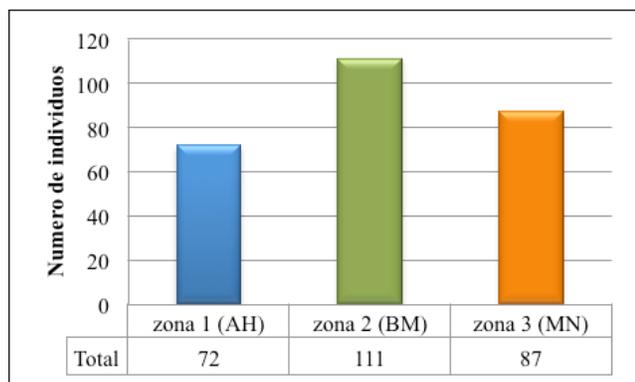


Figura 2. Número de individuos totales colectados en cada zona

La familia Scarabaeidae ha adquirido un interés particular en la investigación entomológica, pues estos insectos son utilizados como herramienta y grupo focal en caracterizaciones biológicas, evaluaciones ecológicas rápidas y monitoreo de la biodiversidad (Pulido, Medina, & Riveros, 2007).

Al analizar los géneros de coleópteros más representativos, es importante señalar que *Dyscolus* (Carabidae) es el más común ( $n = 39$ ; 14,4%) y *Altica* (Chrysomelidae) el menos frecuente con 12 individuos (4,4%) (tabla 1). El género *Dyscolus* está ampliamente distribuido por todo el país, en diversos rangos altitudinales lo cual lo hace uno de los más comunes dentro de los carábidos, sumado a esto, el bosque presente en la Escuela de Policía es un ambiente propicio para su diversificación, lo que permite encontrarlo fácilmente, pues en dicho género se encuentran desde especies geófilas (de tipo mesófilo) a arbóreas, viven desde tierras bajas a altas, incluyendo el páramo. Se encuentran en la hojarasca, ramas y troncos de árboles de bosques tropicales (Martínez C., 2005).

Tabla 1. Número y porcentaje de individuos colectado por género

Familia	Género	n	%
Carabidae	<i>Dyscolus</i>	39	14,4
Scarabaeidea	<i>Canthon</i>	34	12,6
Coccinellidae	<i>Harmonia</i>	25	9,3
Tenebrionidae	<i>Eleodes</i>	21	7,8
Curculionidae	<i>Helius</i>	15	5,6
Chrysomelidae	<i>Altica</i>	12	4,4

Teniendo en cuenta las zonas de muestreo, los coccinélidos fueron la familia predominante en la zona uno (asentamiento humano) y la zona tres (matorral nativo). Si bien es cierto la familia Coccinellidae ha sido ampliamente estudiada por sus hábitos entomófagos y por lo tanto es reconocida por su utilidad como controladora de plagas, posee potenciales especies que pueden ser empleadas como bioindicadoras ambientales que aún no han sido debidamente estudiadas (Da Silva & Garces Da Silva, 2011); considerando esto y los resultados obtenidos, es importante que a futuro se desarrollen estudios que permitan comprender la razón de tales diferencias y similitudes entre las dos zonas, pues a pesar de ser zonas características tan disímiles, en ellas predominó la misma familia. Esto estimula a que se realicen estudios que permitan describir las características particulares del microhábitat de tales individuos, pues Iperiti (1999) señala que las condiciones microclimáticas y la oferta alimenticia son importantes para la selección del hábitat en los escarabajos de dicha familia, ya que cada especie presenta preferencias a diferentes estratos vegetales y grados de intervención. Algunas de las especies pertenecientes a dicha familia son muy vulnerables a los cambios ambientales debidos a la polución química, las fluctuaciones climáticas y la transformación física del paisaje por las actividades antrópicas.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que las poblaciones de insectos responden de manera diferente a los disturbios, dependiendo de su relativa habilidad para localizar y explotar los parches disturbados. Algunos insectos logran adaptarse fácilmente a dichos cambios y otros simplemente no los toleran (Schowalter, 1985). Los coccinélidos ocasionalmente se pueden encontrar alimentándose de fluidos azucarados, secreciones de plantas y frutos trozados (DeBach, 1979), característica de gran importancia, pues muchas de las muestras de esta familia fueron halladas en plantas de mora silvestre (*Rubus floribundus*); aunado a esto, los adultos tienden a tener hábitos gregarios, por lo que es frecuente encontrarlos en grandes grupos sobre la vegetación (Wolff E., 2006), motivo para inferir que al realizar agitación de follaje se pudiera colectar un mayor número de ejemplares.

Los carábidos fueron muy representativos en la zona dos (bosque maderable) y en la zona tres (matorral nativo) debido a que generalmente están asociados a bosques plantados (Martínez C., 2005). En general, los

Platynini de Suramérica se encuentran concentrados en la parte norte de la Cordillera de los Andes (Colombia, Venezuela y Ecuador); al sur, son un poco menos diversos, debido probablemente a las condiciones climáticas más extremas (bajas temperaturas y fuertes vientos) (Martínez & Ball, 2003). Para el caso se encontraron 51 individuos pertenecientes a 6 géneros (*Dyscolus*, *Scarites*, *Lebia*, *Lebia* sp., *Glyptolenus* y *Notiobia*); el género *Dyscolus* fue el más abundante ( $n = 39$ ), no solo de la familia sino del estudio en general. Una posible explicación es el hecho de que suele dominar la carabidofauna andina y es el más resistente a la desecación (Moret, 2003), este es un grupo con muchas especies, probablemente como consecuencia de una radiación en el medio montañoso, donde las “islas” de páramos y zonas altas, así como los valles interandinos han formado condiciones propicias para la diversificación con multiplicación de formas geográficamente restringidas (Martínez & Ball, 2003). Por otra parte, un factor determinante de su distribución es el hecho de que suele encontrarse en un rango altitudinal entre los 2000 y 3500 msnm (Martínez, 2005), rango en el que se encuentra ubicado el municipio en el que se realizó el estudio. Es importante resaltar que según la revisión de Martínez (2005) no se encuentran registros de ningún género de Carabidae en el municipio, lo cual consolida estos registros como los primeros para Santa Rosa de Viterbo.

La familia Scarabaeidae con 43 individuos, predomina generalmente en la zona uno (asentamiento humano) y en la zona dos (bosque maderable), los géneros registrados son *Anoplognathus*, *Phyllophaga*, *Canthon* y *Dichotomius*, estos 2 últimos netamente coprófagos y que por lo tanto generalmente fueron capturados en las trampas de caída con excremento humano. Es importante señalar que dichas zonas se caracterizan por estar destinadas al pastoreo de ganado equino y bovino, situación que facilita la distribución de dichos especímenes que aprovechan el excremento. De otro lado, dichos individuos han sido usados en la detección de los cambios ambientales, incluidos los causados por alteración del hombre, así como también pueden reflejar la diversidad y grados de endemismos de otros grupos en su mismo hábitat midiendo su propia diversidad (Halffter y Favila 1993, Barbero *et al.*, 1999, Celi y Dávalos 2002).

Según la revisión de Medina, Lopera-Toro, Vitolo y Gill (2001) sobre los escarabajos coprófagos de Colombia,

para estos géneros no se registra una altitud mayor a 2650 msnm, por lo cual se puede pensar en un registro altitudinal para *Canthon* y *Dichotomius*.

### Curvas de acumulación de especies

Cada espécimen colectado en los muestreos fue organizado en una matriz de géneros *versus* muestreos dependiendo de la presencia-ausencia del individuo analizado. Posteriormente se utilizó el programa EstimateS 6.0 (Colwell, 2012), como resultado se generaron curvas de acumulación de especies, de las cuales se tomaron estimadores no paramétricos (figura 3; tabla 2) como Chao 1, Chao 2 y ACE que permitieron analizar la riqueza y estructura de la diversidad y singletons y uniques para evaluar la representatividad del muestreo, la dominancia y la equidad en los inventarios de diversidad.

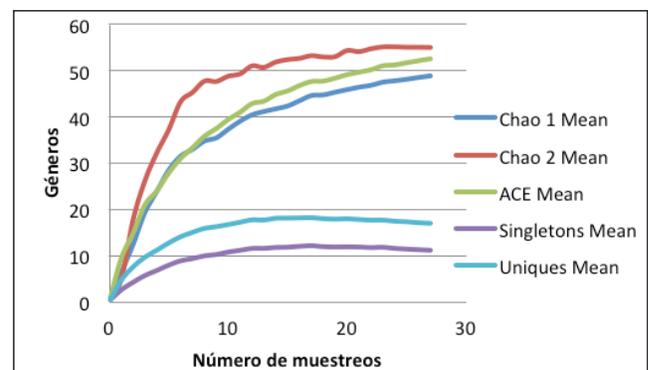


Figura 3. Curvas de acumulación de especies

Tabla 2. Valores de los estimadores de diversidad

Estimadores	Géneros observados	Géneros estimados	Representatividad muestreo (%)
Chao 1	44	49	89,70
ACE	44	52	84,60
Chao 2	44	54	81,40
Singletons	44	11	25
Uniques	44	17	38

Con los índices utilizados se pudo evidenciar que los resultados reales son muy cercanos a los estimados. Para el presente estudio se encontraron 44 géneros, comparado con Chao1, el cual estimó 49 géneros, se puede inferir que la representatividad del muestreo fue de 89,70%; aunque estos valores son de gran importancia, no se logró una asíntota total en la curva, lo que indica que el número de especies esperadas considerando la relación entre el número de especies únicas (que solo aparecen en una muestra) y el número de especies duplicadas (que aparecen compartidas en dos muestras), puede aumentar si se intensifica el muestreo (Villareal *et al.*, 2006).

Las curvas de acumulación generadas por Chao 2 y ACE mostraron una representatividad del muestreo de 84,60% y 81,40% respectivamente, lo cual es buen valor en términos de evaluación de diversidad, pero también indica que faltó mayor grado de intensidad en los muestreos, pues las curvas, aunque tienden a ser asíntotas, sobrepasan los valores observados o reales y no se estabilizan definitivamente (Magurran, 2004).

Los singletons y uniques determinan la cantidad de géneros que solo tienen un individuo, que para el caso correspondió al 25% y 38% respectivamente; estos porcentajes son relativamente altos para el estudio, teniendo en cuenta que estos estimadores se basan principalmente en el número de especies de un muestreo que solo están representadas por uno o dos individuos, o que se registraron en una o dos muestras. Teniendo en cuenta el supuesto de que en la naturaleza no existen individuos solos, sino poblaciones, cuando en un inventario se presentan demasiados singletons o uniques, significa que no se han censado un número suficiente de individuos o realizado suficientes réplicas (Villareal *et al.*, 2006), razón por la cual es recomendable desarrollar actividades posteriores de monitoreo en el lugar en el que se realizó el estudio.

### Índices de diversidad

Por otra parte, y para evaluar la riqueza específica, dominancia y la equidad en el inventario, se seleccionaron 3 índices (Margalef, Simpson y Shannon H), pues con los datos obtenidos con el programa Past3, se pueden evaluar los parámetros más relevantes que se tienen en cuenta en un estudio de diversidad.

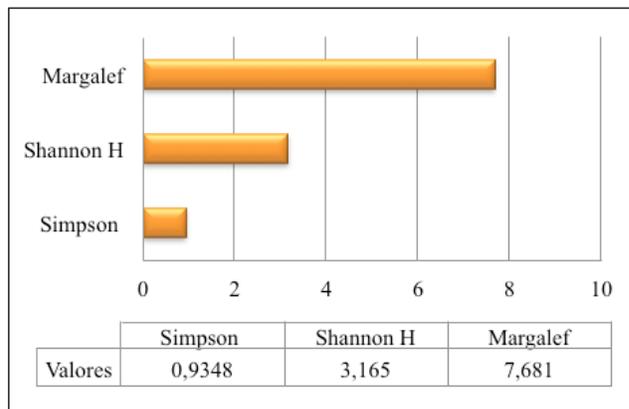


Figura 4. Índices de diversidad

Para evaluar la diversidad en sus diferentes componentes y niveles o escalas, el índice de Simpson tomó un valor de 0,9348; según Lamprecht, (1962) valores que se acerquen a 1 indican que la diversidad es baja y por ende que la dominancia es alta. El índice de Shannon tomó un valor de 3,165, si tenemos en cuenta que para este índice se utiliza un intervalo de 1 a 4,5, donde valores cercanos al dato mayor son indicativos de alta diversidad, podemos asegurar que la zona estudiada es considerada como diversa. Este índice se basa en la teoría de la información y por tanto en la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema. El índice de Margalef adquirió un valor bastante alto 7,681, lo cual rebasa el valor propuesto para zonas que son consideradas con alta biodiversidad, lo que representa una buena expresión de la riqueza específica de la zona, además este índice supone una relación entre el número de especies y el número total de individuos. Si esto no es cierto, entonces el índice varía con el tamaño de la muestra de forma desconocida (Villareal *et al.*, 2006).

### Componente pedagógico

#### Desarrollo componente pedagógico en Escuela de Policía Rafael Reyes

Con el propósito de consolidar los procesos de formación de los semilleros de la Escuela de Policía Rafael Reyes, se constituyó un semillero de investigación interinstitucional, cuyo objetivo principal fue familiarizar a los integrantes con las metodologías propias de la identificación y monitoreo de los coleópteros, para su posterior vinculación como auxiliares de investigación durante el proceso. Tal actividad tuvo el propó-

sito fundamental de propiciar un espacio en el que, a través del aprendizaje cooperativo de los semilleros del grupo Gecos y de la ESREY, podían interactuar para así adquirir diferentes habilidades; los semilleros del grupo de investigación tuvieron la oportunidad de adquirir competencias relacionadas con su quehacer como futuros docentes y los semilleros de la Escuela de Policía la posibilidad de apropiarse de conceptos y experiencias relacionadas con la importancia del ambiente y del trabajo con la comunidad.

Una vez constituido el semillero, se desarrollaron talleres que les permitieron a los participantes comprender conceptos básicos relacionados con la importancia ecológica y diversidad de los insectos, para posteriormente ponerlos en práctica a través del desarrollo de actividades de reconocimiento de las características morfológicas que diferencian a estos de los demás artrópodos. Cada taller estaba estructurado de forma tal que hubo espacio para el desarrollo de actividades de motivación, fundamentación teórica (saber), aplicación de los conceptos (saber hacer) y reflexión sobre la importancia ecológica de los individuos analizados y el papel fundamental que el ser humano debe jugar en el uso sustentable del ambiente y conservación de la biodiversidad (saber ser).

### **Desarrollo del componente pedagógico en las instituciones educativas de Santa Rosa de Viterbo**

Nos resulta apremiante que las personas y en especial nuestros niños cuenten con las herramientas necesarias que proveen las ciencias para comprender su entorno, las situaciones y fenómenos que en él se presentan, así como con elementos de juicio que les permitan ser parte de la solución de las problemáticas que hoy afronta el ambiente. Por ello las instituciones educativas y la comunidad en general, deben proveerles la posibilidad de participar en actividades que enriquezcan su proceso de crecimiento intelectual y personal de forma tal que puedan asumir una postura reflexiva, crítica y ética frente a los desafíos que en materia ambiental les presenta la humanidad.

Así, los talleres realizados en cada una de las instituciones educativas y en la Escuela de Policía, tuvieron como propósito formar a los participantes en el conocimiento, valoración y conservación de los recursos biológicos, para que a su vez actuaran como dinamizadores y propulsores del conocimiento en su comunidad. Para ello, se diseñaron talleres con múltiples

actividades, que fueron implementados tras realizar un diagnóstico de los saberes previos, para finalmente aplicar una evaluación de las actividades desarrolladas.

El taller uno denominando “El mundo de los insectos”, se diseñó de manera tal que los participantes tuvieron la oportunidad de identificar las principales características de los insectos, así como los órdenes y principales grupos que pueden observarse en un ecosistema con el fin de comprender su función en el mismo. El análisis de los resultados se realizó a través de la construcción de dos redes semánticas o de análisis: en la primera se observan las relaciones conexas a las características físicas que permiten identificar a un individuo como un insecto (figura 5) y en la segunda el comportamiento de los mismos.

Así, en la red semántica (figura 5) se observan los códigos y número de citas y relaciones asociados a la familia “Características para identificar los insectos”; en ella se evidencia la necesidad de realizar este tipo de actividades, pues en grado quinto los estudiantes deberían poder diferenciar claramente los rasgos que separan a los insectos de otros grupos de artrópodos, así los niños mencionaron características que son más evidentes en individuos de otros grupos biológicos: arañas y ácaros (arácnidos) o el ciempiés (miriápodos). Estos resultados coinciden con los reportados por Robles (2013) quien señala que uno de los obstáculos para el aprendizaje de la biología de los insectos, condicionado a los conocimientos previos y las experiencias de los sujetos en su acercamiento a estos organismos, es el determinismo existente en la forma y anatomía propia de los insectos, ya que, para la mayoría de estudiantes, no hay una diferenciación clara entre insectos, arácnidos, miriápodos, etc.

Como se evidencia en la figura 5, cuando durante el desarrollo de la primera actividad se les pidió señalar características propias de este tipo de individuos, señalaron aspectos como “la cabeza y cuerpo pequeño”, rasgo que no es relevante desde el punto de vista taxonómico, que puede ser común a otro tipo de artrópodos y que no es la regla general para los insectos cuando se analizan casos como el de los escarabajos titán y elefante o la cucaracha de madriguera gigante. Así mismo, señalaron características como la forma del cuerpo y menos de la mitad de los niños, lograron indicar rasgos de mayor relevancia y precisión, como la presencia de alas, de

seis patas y de antenas de diferentes tamaños. Es, tras la recolección de estos resultados, que se evidencia la necesidad de contar en la institución educativa con herramientas didácticas alternativas a las que

los estudiantes se enfrentan cotidianamente ya que estas pueden fortalecer el proceso de enseñanza en el contexto educativo inmediato del estudiante (Robles, 2013).

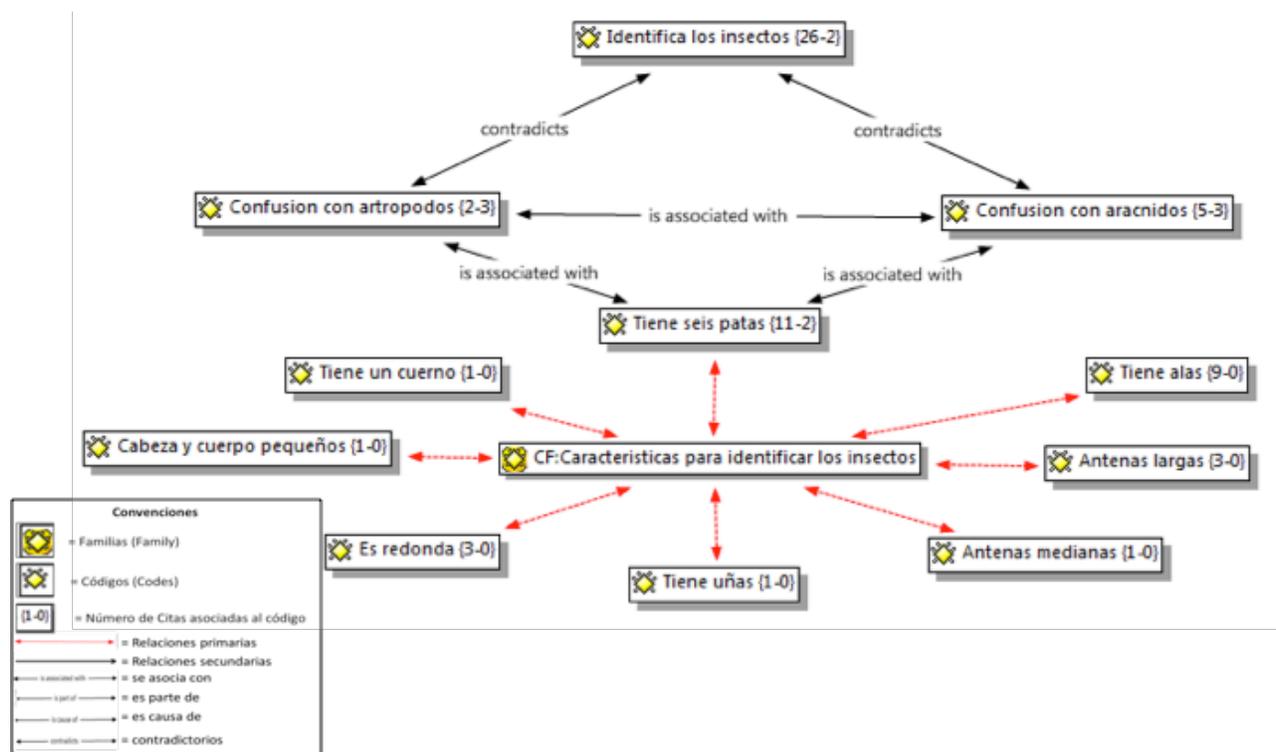


Figura 5. Red de análisis taller 1: características para identificar los insectos

Según Ander-Egg (1986) cuando se trabaja con talleres, como estrategia de aprendizaje, estos son una realidad compleja que si bien privilegia el aspecto del trabajo en terreno, complementa además los cursos teóricos e integra en un solo esfuerzo tres instancias básicas: un servicio de terreno, un proceso pedagógico y una instancia teórico-práctica, en un ámbito de reflexión y de acción en el que se pretende superar la separación que existe entre la teoría y la práctica. La aplicación de los talleres, fue para los niños y semilleros de la ESREY, la oportunidad de profundizar sobre aspectos relevantes de la ecología e importancia de este grupo biológico, además de ofrecerles un espacio de interacción que contribuyó sin duda a su crecimiento personal.

La participación de la Policía durante el proceso de investigación fue de gran relevancia, pues para todos es sabido que los problemas ambientales deben asumirse como una responsabilidad de los diferentes actores y sectores de la sociedad y el Estado. Además, se re-

quiere mucha más transversalidad gubernamental en las acciones de desarrollo, de tal manera que no solamente se superen las contradicciones o incompatibilidades intersectoriales, sino que se genere una coordinación favorable de la intervención pública hacia la sustentabilidad del desarrollo (Quesada, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior, la vinculación de los estudiantes de la ESREY durante el desarrollo del proyecto sin duda contribuyó a reincorporar en ellos una sensibilidad por los temas ambientales que es y será fundamental en su labor como actores sociales. Los problemas a los que en la actualidad se enfrenta la humanidad por el uso irracional y desmedido de la naturaleza, solo tendrán solución en la medida en que la sociedad tenga un cambio de mentalidad que únicamente será posible a través de la inclusión de procesos educativos sólidos en los que se reconozca al estudiante como un sujeto activo y no como un simple receptor de contenidos.

Para el taller número dos denominado “Una vida de escarabajos” se generaron 3 redes de análisis que hacían referencia a las características de los coleópteros, sus funciones en el ecosistema (figura 6) y la importancia de su conservación. Durante el desarrollo del taller los niños tuvieron la oportunidad de identificar y proponer diversos aportes relacionados con el papel que los escarabajos pueden realizar en la naturaleza (familia en la figura 6); es interesante observar que tras la incorporación de las actividades los niños apropiaron conceptos diversos, así durante el desarrollo

de estas actividades mencionaron que los insectos tenían funciones importantes como el control de plagas y efectos benéficos para el ambiente (cuidar el medio ambiente y ayudan al medio ambiente) asociados a la nutrición del suelo y de las plantas y producción de abono. Estas nociones ya son diferentes a las que suelen tener los niños a dicha edad, pues debido a la tradición cultural arraigada, los insectos han sido reconocidos como plagas e individuos “asquerosos y sucios” (Robles, 2013).

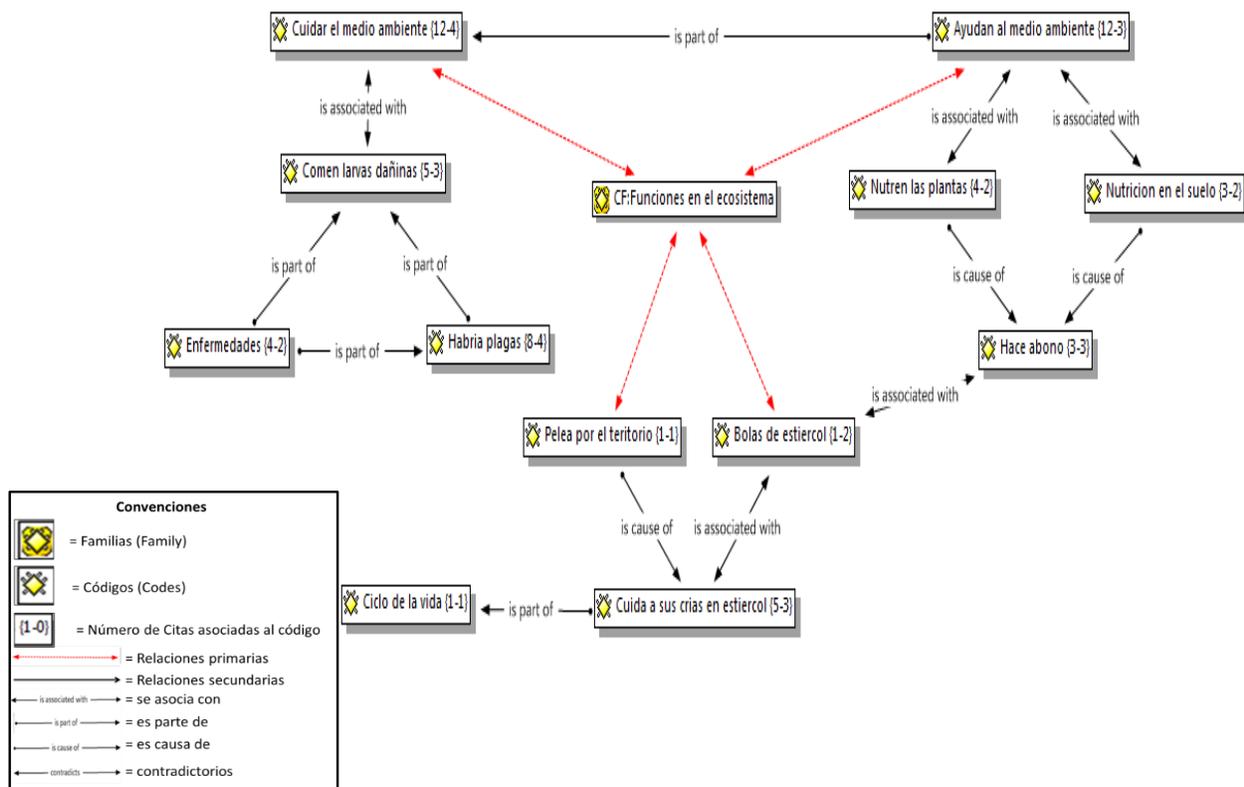


Figura 6. Red de análisis taller 2: funciones de los escarabajos en el ecosistema

En los resultados obtenidos con la prueba de salida realizada en el taller tres, se generaron 2 redes de análisis las cuales describían los conceptos y componentes sobre biodiversidad que apropiaron los participantes en torno al tema y una segunda donde ellos a través de opiniones propusieron argumentos para comprender la importancia de la biodiversidad y su conservación.

El componente pedagógico del estudio permitió reconocer la utilidad de los insectos como modelo didáctico en el aula; para los estudiantes de biología es común utilizar en las prácticas de laboratorio pequeños animales vivos, de sencilla manipulación y fácil obten-

ción, sin embargo, en el trabajo de laboratorio se necesita de un número significativo de ejemplares, los cuales pueden ser costosos, ocupar mucho espacio y requerir limpieza diaria entre otros aspectos (Mondragón & Contreras, 2015); debido a su abundancia y diversidad, los insectos permiten su estudio en una forma muy particular, pues su fácil manipulación posibilita que el estudiante interactúe con ellos, los observe detalladamente y pueda desarrollar pequeños proyectos relacionados con sus hábitos de vida, ciclos biológicos, etc., que pueden extrapolarse a otros individuos para establecer diferencias y similitudes a la

par que se desarrollan habilidades propias para la investigación desde la infancia.

Otro aspecto importante de análisis tras la aplicación de los talleres fue poder determinar que para muchos de los estudiantes los artrópodos son “bichos” peligrosos, venenosos, que pican o que transmiten enfermedades, esto debido a las concepciones alternativas que de acuerdo con lo expuesto por Mintzes (2003) se encuentran en hombres y mujeres de todas las edades, condiciones socioeconómicas, estratos y culturas; sumado a esto muchas de las concepciones alternativas que tienen los alumnos sobre los insectos suelen ser reforzadas o incluso originadas por los maestros, quienes en muchas ocasiones no cuentan con la preparación necesaria para abordar científicamente estos temas. Por ello, la labor de divulgación es fundamental ya que esta idea preconcebida se produce generalmente por desconocimiento y lógicamente es muy difícil pretender conservar algo de lo que poco o nada se conoce o a lo que incluso se teme.

Así, la estrategia basada en el cambio conceptual fue efectiva porque en la planificación de las actividades

didácticas se tuvieron en cuenta los conocimientos previos, fundamentales para la confrontación con los nuevos conocimientos, lo cual produce un conflicto cognitivo cuyo objetivo finalmente es conseguir un efectivo aprendizaje significativo (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1983).

Es a través del desarrollo de actividades de este tipo que el estudiante puede hablar con autoridad y suficientes bases teóricas sobre los coleópteros, o cualquier otro grupo biológico que sea tratado en la clase de ciencias naturales o en cualquier otra clase, pues así podrá hacerse realidad con mayor frecuencia el propósito de la enseñanza de las ciencias: que el niño desarrolle la capacidad para comprender el medio natural en el que vive a partir de su contacto con él a través del desarrollo de actividades prácticas. Así, al razonar sobre los fenómenos naturales que lo rodea y tratar de explicarse las causas que los provocan, se pretende que sus concepciones evolucionen y que adquiera conductas y actitudes comportamentales que favorezcan el uso sustentable de su entorno, a la vez que se desarrolla su actitud científica y su pensamiento lógico (Coll, 1978).

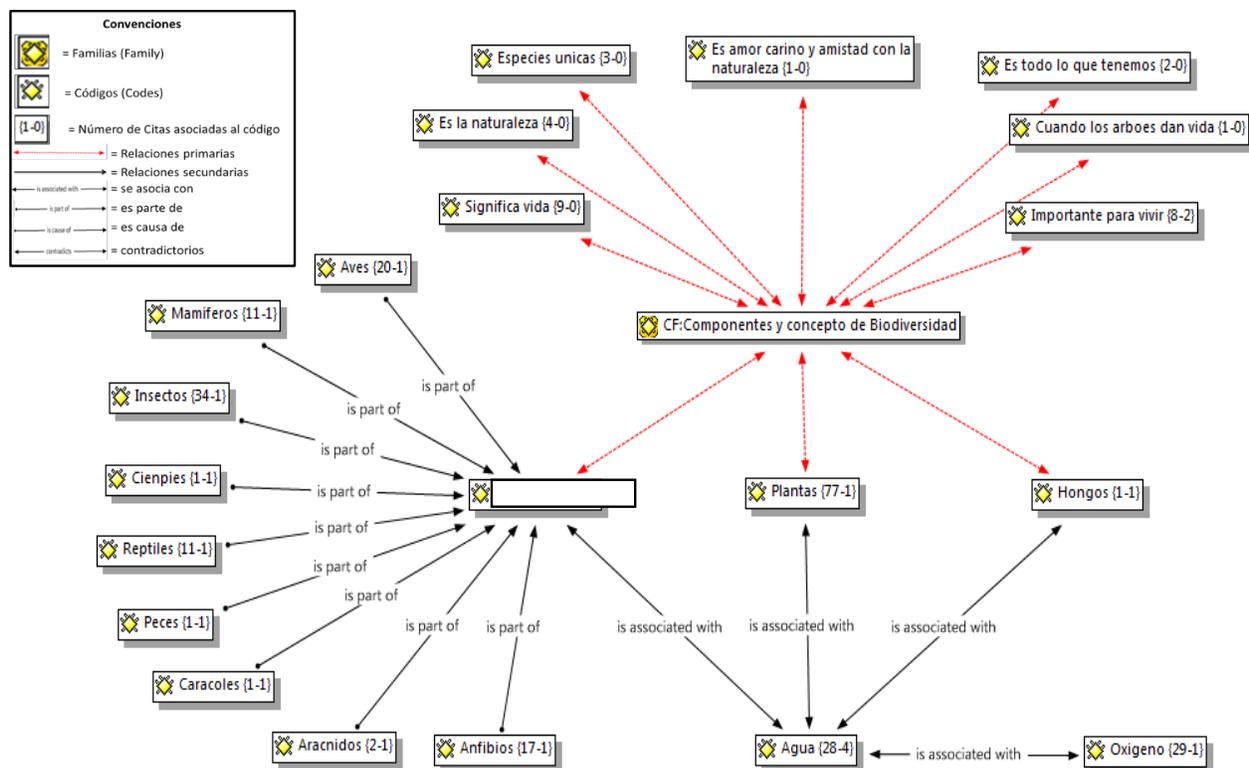


Figura 7. Red de análisis taller 3: componentes y concepto de biodiversidad

Como puede observarse en la figura 7, el desarrollo de las actividades pedagógicas permitió a los participantes reconocer la importancia de la biodiversidad, así como los servicios ecosistémicos que presta la naturaleza, lo que demuestra la importancia del interés y preparación del docente, así como la vinculación de diversos actores de la comunidad educativa (para el caso la Policía Nacional) para que la escuela propicie el cambio que hoy por hoy se requiere. Un individuo no podrá hacerse consciente de la importancia de conocer el medio que lo rodea y responsabilizarse del desarrollo de acciones que le permitan hacer uso de él, sin comprometer el futuro de las generaciones siguientes, si la escuela no promueve el contacto de este con el mundo natural; de esta forma, modificaciones en los contenidos curriculares, enfatizando la perspectiva afectiva y emotiva, generan el ambiente adecuado para un proceso de alfabetización científica y de responsabilidad frente a la protección de los recursos disponibles (Pizarro, López, Jewell, & Inostroza, 2014).

Por otra parte, este tipo de actividades permiten a la comunidad reconocer el papel de diferentes especies para motivar su protección, pues en ocasiones se conservan únicamente las especies raras, aquellas consideradas carismáticas o las que están en vía de extinción, dejando de lado organismos que desempeñan funciones vitales para el mantenimiento del equilibrio ecológico. El desarrollo de acciones de educación para la conservación de la fauna y la flora debe entonces tener un enfoque integral, una visión sistémica que permita valorar la relevancia que cada organismo tiene en un hábitat particular. Para generar acciones de conservación, establecer planes estratégicos o cualquier otro tipo de iniciativa, es necesario saber qué es lo que se tiene, cómo y dónde está, es decir, es primordial tener un conocimiento previo de los componentes de la biodiversidad (Gasca & Torre 2013).

Finalmente, uno de los grandes retos de la educación es el de ir más allá de los textos escolares tradicionales, a través del desarrollo de actividades que como estas promuevan el interés natural que los individuos tienen por la investigación, así los niños serán más susceptibles al cambio y a la adaptación, pues es en etapa escolar donde precisamente se forman las ideas y los principios que orientarán las formas diversas de ver la vida y de relacionarse con el entorno. Para este tipo de actividades es recomendable introducir a los niños en el mundo natural y permitirles ser

parte de él creando ambientes donde ellos sientan la libertad de aprender de forma segura y controlada (Garces, 2009), y tengan la oportunidad de fortalecer y desarrollar habilidades necesarias para la investigación como la observación, capacidad de síntesis, análisis, argumentación y resolución de problemas.

## CONCLUSIONES

Los resultados de un inventario biológico y para el caso entomológico, carecen de importancia si aparte de ser divulgados a la comunidad académica y científica, no son socializados con la comunidad de la zona en la que se realizó el estudio. Por otra parte, la enseñanza de las ciencias naturales se hace un proceso significativo cuando el estudiante tiene la posibilidad de reconocer lo que el entorno ofrece, por ello los resultados del estudio fueron de gran relevancia para el diseño e implementación de la estrategia pedagógica.

La realización del inventario de diversidad biológica permitió realizar nuevos registros del orden Coleoptera para la zona y la franja altitudinal, pues a esta altura es poco común la realización de este tipo de estudios.

La presencia de bosques maderables introducidos por el hombre en el ecosistema causa el incremento de coleópteros con hábitos arbóreos, lo que a su vez produce un efecto negativo al evaluar la biodiversidad, pues el aumento de la dominancia de una especie en particular disminuye la diversidad.

Los coleópteros son sin duda un importante componente del ecosistema, pues además de su reconocido papel como descomponedores, aportan nutrientes al suelo y contribuyen a la aireación y a la penetración del agua en este. Por otra parte, contribuyen al control de plagas y son considerados especies bioindicadoras; se hace así necesario desarrollar estudios de monitoreo que incluyan nuevas variables como el estrato y tipo de vegetación en el que se encontraron las especies, con el propósito de contar con información que a futuro permita diseñar estrategias de conservación de las especies inventariadas en este estudio y de manejo y recuperación del bosque altoandino en la zona.

La vinculación de los semilleros de investigación Gecos, ESREY y comunidad educativa del municipio, ha permitido mejorar las prácticas sociales, comunitarias y educativas, al proporcionar herramientas necesarias

para el conocimiento de la diversidad biológica, lo cual es de gran importancia en el proceso de difusión de conocimiento en pro de la conservación de la biodiversidad de la región.

La ejecución de un inventario del orden Coleoptera en el ámbito pedagógico, permite que los estudios realizados sean dados a conocer a toda la región y que a partir de estos se tengan conocimientos básicos que a corto, mediano y largo plazo sean significativos para las instituciones y actores involucrados, quienes pueden llevar este conocimiento a su ámbito profesional y divulgarlo a la población en general.

La implementación de actividades educativas evidenció la importancia de considerar los conocimientos previos, cuando se busca que un proceso de sensibilización y educación alcance los objetivos establecidos. Para ello, es necesario que los estudiantes interactúen con el objeto de conocimiento y claro, la sólida formación conceptual de un maestro que planea cuidadosamente las actividades que permitirán el contacto con la realidad natural, haciendo del entorno un aula abierta que permite aprender desde la investigación, la mejor forma de relacionarnos con el ambiente.

## REFERENCIAS

- Adler, P., & Lauenroth, W. (2004). The power of time: spatiotemporal scaling of species diversity. *Ecol. Lett.*, 6(8), 749-756, doi: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00497>
- Aguirre-Tapierio, M. (2009). Clave de identificación de géneros conocidos de *Elateridae* Leach (Coleoptera Elateriidea) en Colombia. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle.
- Ander-Egg, E. (1986). *Acerca del pensar científico*. Barcelona: Humanitas.
- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Borror, D. C. (1989). *An introduction to the study of insects*. 6th ed. Saunders college publishing.
- Coll, C. (1978). *La conducta experimental en el niño*. Barcelona: CEAC.
- Chaote, M. (2003). Introduction to the Identification of Beetles (Coleoptera). Dichotomous Keys to Some Families of Florida Coleoptera.
- Da Silva, P., & Garces Da Silva, F. (2011). Besouros (Insecta: Coleoptera) utilizados como Bioindicadores. *Revista Congrega URCAMP*, 1-16.
- Davies, K. F., & Margules, C. R. (1998). Effects of habitat fragmentation on carabid beetles: experimental evidence. *Journal of Animal Ecology*, 67, 460-471.
- Daza, S., & Quintanilla, M. (2011). *La enseñanza de la ciencias en las primeras edades: su contribución a la promoción de competencia de pensamiento científico*. Litodigital.
- DeBach, P. (1979). *Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas*. CECSA. Octava impresión.
- Erwin, T. (1991). Natural history of the carabid beetles at the BIOLAT Biological Station, Rio Manu, Pakitza. *Revista Peruana de Entomología*, 33, 1-85.
- Garcés, D. M. (2009). Soy ecolombiano. *El Espectador*, 97-104.
- Gray, J. (2002). Species richness of marine soft sediments. *Mar. Ecol. Prog.*, 244, 285-297.
- Gómez, Z., & Savini, V. (2001). El género *Megascelis Latreille*, 1825 (Coleoptera: Chrysomelidae: Eumolpinae) en Venezuela. *Entomotrópica*, 16(2), 89-125.
- Halffter, G., Moreno, C., & Pineda, E. (2001). Manual para la evaluación de la Biodiversidad en Reservas de la Biósfera. *UNESCO, SEA*, 82.
- Hernández Sampieri, R. (2003). *Metodología de la investigación*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Hogan, K., & Corey, C. (2001). Viewing Classrooms as Cultural Contexts for Fostering Scientific Literacy. *Anthropology & Education Quarterly*, 32(2), 214-243.
- Huston, M. (1994). *Biological diversity*. Cambridge University Press.
- Iperti, G. (1999). Biodiversity of predaceous Coccinellidae in relation to bioindication and

- economic importance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 323-342.
- Jerez, V. (2000). Diversidad y patrones de distribución geográfica de insectos coleópteros en ecosistemas desérticos de la región de Antofagasta, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73(1), 79-92, doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2000000100009>
- Jiménez, A., & Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8(31), 151-161
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (1988). *Cómo planificar la investigación-acción*. Barcelona: Laertes.
- Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Black well Publishing India.
- Martínez, C. (2005). *Introducción a los escarabajos Carabidae (Coleoptera) de Colombia*. Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Martínez, C., & Ball, G. E. (2003). Los Platynini (Coleoptera: Carabidae) de Colombia. *Biota Colombiana*, 4(2), 175- 186.
- Medina - Sandoval, W., & Gutiérrez- Ruiz, A. (2014). Bioalfabetizando mediante experiencias en una biblioteca natural. *Intersedes*, 15(31), 69-85.
- Medina, C., & Lopera-Toro, A. (2000). Clave ilustrada para la identificación de escarabajos coprofagos (Coleoptera-Scarabaeinae) de Colombia. *Caldasia*, 2(2), 299-315.
- Mintzes, J. (2003). Understanding and Conceptual Change: An International Agenda from a Human Constructivist Perspective. *Proceedings of the International Conference on Science and Mathematics Learning*, (pp. 16-18). Taipei.
- Mittermeier, R. A. (1997). *Megadiversidad. Los países biológicamente mas ricos del mundo*. Ciudad de México: Cemex.
- Mondragón, I., & Contreras Peña, Y. (2015). Uso de los insectos *Tenebrio molitor*, *Tribolium castaneum* y *Palembus dermestoides* (Coleoptera, Tenebrionidae) como recurso didáctico en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Revista de Investigación*, 39(86), 255-270.
- Moret, P. (2003). Clave de identificación para los géneros de Carabidae (Coleoptera) presentes en los páramos de Ecuador y del sur de Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 29(2), 185-190.
- Morón, M., & Terrón, R. (1988). *Entomología Práctica*. Publicación 22. Primera Edición. Instituto de Ecología.
- Morrone, J., & Ruggiero, A. (2001). Cómo planificar un análisis biogeográfico. *Dugesiana*, 7(2), 1-8.
- Noss, R. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical model. *Conservation Biology*, 4(4), 355-364.
- Pizarro-Araya, J., López-Cortés, F. M., Jewell, S., & Inostroza, M. C. (2014). Preferencias de niños y niñas en relación con los artrópodos epigeos (Metazoa: Arthropoda) del desierto florido de Chile. *Idesia (Arica)*, 32(3), 13-23.
- Pulido, L., Medina , C. A., & Riveros, R. (2007). Nuevos registros de escarabajos coprófagos (Scarabaeidae: scarabaeinae) para la región andina de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 31(119), 305-310.
- Quesada, E. (2012). *Programa Nacional de áreas protegidas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Robles, J. (2013). Los insectos como estrategia didáctica en la enseñanza de la ecología a través del cómic. *Biografía*, 6(10), 11-21.
- Schowalter, T. (1985). Adaptations of insects to disturbance. pp. 235-252. En T. Pickett, *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics* (pp. 235 - 252). New York: Academic Press.
- Thiele, H. (1977). *Carabid beetles in their environments: A study on habitat selection by adaptations in physiology and behavior*. Berlín: Springer.

- Vargas, L. (2011). *Especies Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) de la reserva natural el Aguacate (Acandí-Chocó-Colombia) y diseño de una guía para su conocimiento y valoración*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, et-al. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de biodiversidad. Programa de inventario de biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Vogt, R., & Dirzo, R. (1997). *Historia natural de los tuxtlas*. México: UNAM.
- White, R. (1998). *A field Guide to the beetles of North America*. Peterson field guide.
- Wolff E, M. (2006). *Insectos de Colombia*. Medellín, Antioquia: GIEM.
- Yara, F. (2002). *Guía ilustrada para el reconocimiento de los géneros de escarabajos coprófagos más comunes registrados en Colombia (Coleoptera Scarabaeinae.) Un manual educativo. Tesis de grado*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- ZúñigaReinoso, Á. (2011). Los coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) de la región de Magallanes: nuevos registros y distribución regional. *Anales Instituto Patagonia*, 39(1), 59-71.

# Análisis del origen de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Bogotá usando gráficos polares

Pedro Alejandro García Ávila,<sup>1\*</sup> Néstor Y. Rojas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Uniagraria, Facultad de Ingeniería Calle 170 N° 56A-10, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Carrera 45 N° 26-85 Edificio 412 Oficina 206. Teléfono (571) 3165000 Ext. 14304

\*Autor para correspondencia: [peagarciaav@unal.edu.co](mailto:peagarciaav@unal.edu.co)

## RESUMEN

Determinar la procedencia de los contaminantes del aire registrados por una red de monitoreo es fundamental para diseñar acciones de prevención y control de la contaminación. Con este fin, se analizaron, mediante la aplicación Openair®, los registros de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), velocidad y dirección de los vientos, en 10 estaciones de monitoreo de calidad del aire en Bogotá para el período 2009-2011, encontrándose la influencia de fuentes locales y regionales. Se determinaron altas concentraciones de material particulado relacionadas con velocidades de viento superiores a 5 m/s procedentes del occidente, lo cual sugiere un transporte regional de contaminantes desde los municipios vecinos del occidente de la ciudad (Soacha, Funza, Mosquera, Madrid), hacia su centro geográfico. Estos municipios concentran actividad industrial y transporte pesado de bienes desde y hacia Bogotá. Las fuentes localizadas al interior de la ciudad, en particular aquellas que emplean carbón como combustible y las fuentes móviles que transitan sobre las vías principales, contribuyen a generar altos niveles de material particulado cuando los vientos son débiles, pero en menor magnitud que las fuentes externas.

**Palabras clave:** contaminación del aire, material particulado, red de monitoreo de calidad del aire, openair, gráficos polares.

**Editor:** Hernández Fernández, J.  
[javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

**Citation:** García-Ávila, P. A. & Rojas, N. Y. (2016). Análisis del origen de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Bogotá usando gráficos polares. *Mutis* 6(2), 47-58, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1150>

**Received:** Mayo 23, 2016. **Junio:** 31, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

**Copyright:** ©2016 García-Ávila, P. A. & Rojas, N. Y. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Competing Interests:** The authors have no conflict of interest.

## Analysis of the origin of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Bogota by using polar plots

### ABSTRACT

The design of pollution prevention strategies and plans requires information about the origin of the pollutants. In this work, particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), wind speed and wind direction records from 10 air quality monitoring stations in Bogota between 2009 and 2011 were analyzed using Openair®. The influence of local and regional sources was established. High concentrations of particulate matter



associated with wind speeds exceeding 5 m/s from the West were found, suggesting regional transport from the neighboring municipalities of Soacha, Funza, Mosquera and Madrid, towards its geographic center. These municipalities have a significant industrial activity and heavy transport of goods to and from Bogotá. Sources located within the city, particularly those using coal as fuel and mobile sources that travel on main roads contribute to generate high levels of particulate matter when the winds are weak, but at a lesser extent than external sources.

**Keywords:** air pollution, particulate matter, air quality monitoring network, openair, polar plot.

## INTRODUCCIÓN

Más de 3.2 millones de muertes anuales pueden ser atribuidas a la contaminación del aire por material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) en el mundo (Lelieveld *et al.*, 2015). El material particulado afecta en mayor proporción a los grupos de personas más sensibles, tales como niños y personas mayores. En el Reino Unido, se encontró que la exposición a  $PM_{10}$  en el año 2002 llevó a 6500 muertes y 6400 hospitalizaciones (Defra, 2005). En Bogotá, la enfermedad respiratoria es la principal causa de mortalidad infantil en la ciudad; al año se producen cerca de 600 mil atenciones en salud por Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) en niños menores de cinco años (Hernández, *et al.*, 2010) (SDA, 2010). Mediante las acciones apropiadas de prevención en la ciudad, se podrían obtener beneficios económicos del orden de 180 mil millones de pesos en los costos de las enfermedades relacionadas y un beneficio económico de más de 21 billones de pesos por concepto de mortalidad por estas causas, entre 2010 y 2020 (Ortiz y Rojas, 2012).

Una fracción del material particulado atmosférico es emitida directamente a la atmósfera desde la fuente contaminante y otra se forma en la atmósfera por fenómenos de conversión de gas a partículas y reacciones químicas, las cuales pueden tomar desde unos minutos hasta varios días. En consecuencia, estas sustancias y sus precursores pueden viajar largas distancias (Sniffer, 2010; WHO, 2006). Mediante una adecuada ubicación de estaciones de monitoreo ambiental y meteorológico en lugares rurales, urbanos, industriales y de alto tráfico vehicular, y analizando los datos generados de concentraciones de contaminantes

y variables meteorológicas, se puede inferir a escala local y regional la procedencia de los contaminantes. Por lo anterior, al relacionar dirección y velocidad del viento con la concentración de los contaminantes, se puede presuponer o localizar su origen. Esta relación se consigue utilizando herramientas gráficas, tales como la rosa de los vientos, la rosa de contaminantes, el gráfico polar y el gráfico anular, entre otros.

La utilización de este tipo de herramientas ha permitido determinar la localización de fuentes significativas de contaminación en diversos lugares, evitándose gastos onerosos con otros métodos. En París, la autoridad ambiental francesa encargada del monitoreo de la calidad del aire Airparif, demostró, con ayuda de rosas de los vientos y rosas de contaminantes, que aproximadamente el 40% de la contaminación por  $PM_{2.5}$  medida en la ciudad procede de otras regiones de Francia y de otros países europeos, y el 60% restante es producida localmente, principalmente por el tráfico vehicular (Airparif, 2012). Por su parte, estudios de  $PM_{2.5}$  en el Reino Unido (Sniffer, 2010), mostraron la asociación de altos valores de concentración de  $PM_{2.5}$  en el sur del territorio con vientos a altas velocidades que transportan sustancias precursoras de  $PM_{2.5}$  desde Europa del Este, el norte de Alemania, Holanda y Bélgica. Para este fin, emplearon principalmente gráficos polares, los cuales muestran la variación de la concentración de un contaminante por dirección y velocidad del viento. Estos gráficos usan la técnica de suavizamiento estadístico para mostrar una superficie continua (Carslaw, 2015).

### Contaminación del aire en Bogotá

El monitoreo de la calidad del aire se inició en Bogotá a mediados de la década de los 60, promovido por la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Debido a la problemática por la contaminación del aire y con el objetivo de estudiar la calidad del aire en la ciudad, se han realizado varios proyectos por algunas entidades, cada una de las cuales contaba con una red de monitoreo de calidad del aire para su estudio: Red PANAIRES (1974), 5 estaciones; Red SICA (1985), 14 estaciones; Red JICA (1991), 5 estaciones; y Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá RMCAB (1997), 12 estaciones. De todos los contaminantes monitoreados en la capital, el  $PM_{10}$  es al que mayor importancia se le ha dado, ya que sus valores de concentración han sobrepasado la norma históricamente en diferentes sitios de la ciudad. Desde el año 1997 y

hasta 2010 se ha observado un aumento moderado en su concentración, presentándose los valores más altos los años 2004, 2005 y 2007. Las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy han reportados los valores de concentración más altos, con evaluaciones respecto a la norma vigente en varios momentos. En cuanto a gases contaminantes los resultados no presentan una problemática importante; las concentraciones anuales de NO<sub>2</sub> siempre han estado por debajo del 50% de la norma. El ozono, aunque actualmente ha estado bajo norma, no ha tenido una tendencia histórica clara, dada su variación irregular con los promedios mensuales entre 2000 y 2010. El SO<sub>2</sub> ha tenido una disminución continua y significativa en el mismo período, comportamiento debido en parte a la mejora de la calidad de los combustibles, especialmente el diésel.

Dentro de las medidas de descontaminación en la ciudad, se han realizado programas entre los que se encuentra el pico y placa ambiental en el año 2006, que se sumó al pico y placa de movilidad que había estado operando desde el año 1998. Así mismo, se han reali-

zando acciones importantes como el mejoramiento del diésel por parte de Ecopetrol, los operativos vehiculares en la vía y el control a fuentes industriales (SDA, 2010).

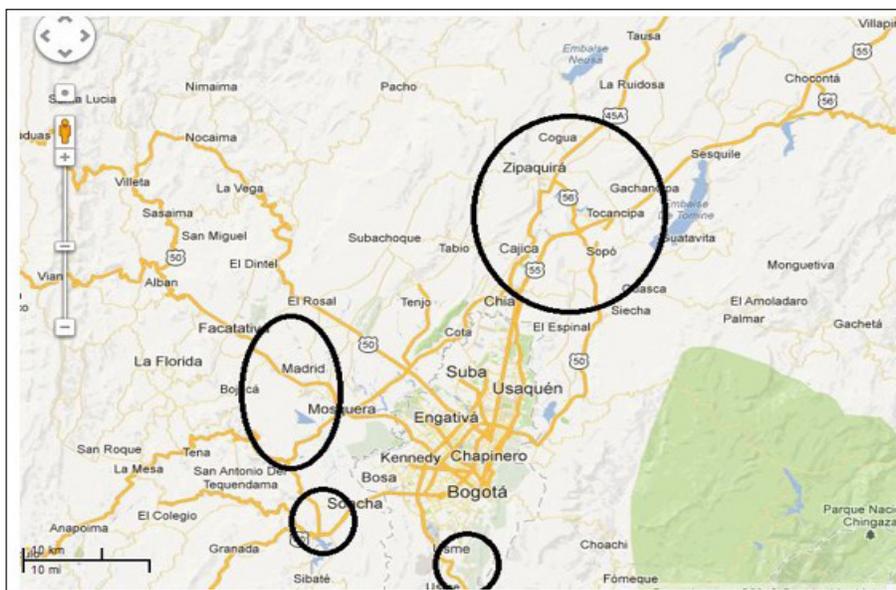
Los valores de las concentraciones de los diferentes contaminantes registrados por la RMCAB son el resultado de las emisiones generadas tanto dentro de la ciudad como fuera de ella, posteriormente transportadas por el viento. También habría un aporte de los contaminantes secundarios, es decir, aquellos formados en la atmósfera a partir de precursores gaseosos emitidos por diversas fuentes. Los contaminantes podrían provenir de los municipios cercanos a Bogotá, los cuales están bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. De las 14 oficinas provinciales que abarca la CAR, se han encontrado los valores más altos de emisión de contaminantes en Sabana Occidente, Alto Magdalena, Bogotá-La Calera, Sabana Centro y Soacha, mostrados en la tabla 1 (Universidad Militar, 2008).

**Tabla 1.** Carga contaminante calculada para las 5 regiones de mayor contaminación de jurisdicción de la CAR. Elaboración propia a partir de: Universidad Militar (2008)

Provincial	MP ton/año	SO <sub>2</sub> ton/año	NO <sub>2</sub> ton/año	CO ton/año
Sabana Centro	4767,23	3334,68	1703,65	285,14
Soacha	1399,26	1106,70	460,53	130,09
Sabana Occidente	1492,66	1322,81	746,88	106,78
Alto Magdalena	962,05	748,98	396,25	83,23
Bogotá rural y La Calera	2666,28	866,04	498,16	12,10

En la provincial de Sabana Centro, al norte de Bogotá, los municipios que más emiten contaminantes son Cogua y Nemocón (a 40 kilómetros), los cuales tienen actividad minera y producción de coque, y Cajicá (a 20 kilómetros), que se caracteriza por su actividad industrial. Por su parte, en la provincial de Soacha, al sur y suroriente, los municipios de Soacha y Sibaté (a 15 y 25 km respectivamente) aportan emisiones industriales aproximadamente en partes iguales, asociadas a la producción de grandes empresas manufactureras. En la provincial Sabana Occidente, al occidente de Bogotá, el municipio de Mosquera (a 15 km) aporta un 50% del total, debido a su producción industrial

manufactureras. Finalmente, en la provincial del Alto Magdalena, el municipio de Girardot (a 80 kilómetros al suroeste), es el que más aporta en la carga contaminante debido a la producción ladrillera y al sector transporte. La figura 1 muestra la ubicación de estos municipios.



**Figura 1.** Municipios cercanos a Bogotá con mayores emisiones de contaminación industrial  
**Fuente:** Google maps (R)

## METODOLOGÍA

### Información a ser analizada

La información meteorológica y de concentración de los contaminantes  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  procede de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), que ha registrado estas variables desde 1997 en 19 estaciones. No todas estas estaciones cubren los años 1997 a 2011, que se definió como período de base. Después de un proceso inicial de depuración con el criterio de incluir las estaciones que estuvieran activas al año 2011 y que tuvieran un período lo más largo posible de datos válidos registrados de manera continua con un porcentaje de captura mayor o igual al 75%, se seleccionaron 10 estaciones de monitoreo (Carvajal, Kennedy, Fontibón, Puente Aranda, Tunal, Simón Bolívar, Ferias, Suba, Usaquén y Guaymaral) y el período 2009-2011 para el análisis.

### Análisis de la información

La información depurada de las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  se analizó utilizando el paquete de análisis de datos de calidad del aire Openair<sup>®</sup>, que opera con base en el programa de análisis estadístico R (Carslaw, 2011). Para las estaciones y el período seleccionados, se realizó un análisis espacial de  $PM_{10}$  empleando la herramienta gráfico polar para determinar la dirección de procedencia de los vientos asociados

con las más altas concentraciones del contaminante, permitiendo a la vez sugerir posibles fuentes de contaminación. Se tuvieron en cuenta los centros industriales cercanos a Bogotá y la ubicación de 80 fuentes fijas relativamente importantes que emplean carbón como combustible dentro del perímetro urbano, identificadas en el inventario de emisiones más recientemente consolidado (Behrentz *et al.*, 2008). Igualmente se tuvo en cuenta la ubicación de las vías principales de Bogotá. Posteriormente, se utilizaron gráficos anulares temporales para inferir la relación entre las concentraciones de contaminantes y los comportamientos temporales de las fuentes de emisión. El gráfico polar también se utilizó para analizar la información disponible de  $PM_{2.5}$  y la relación  $PM_{10}/PM_{2.5}$ , con el fin de ratificar la inferencia sobre el tipo de fuente del material particulado.

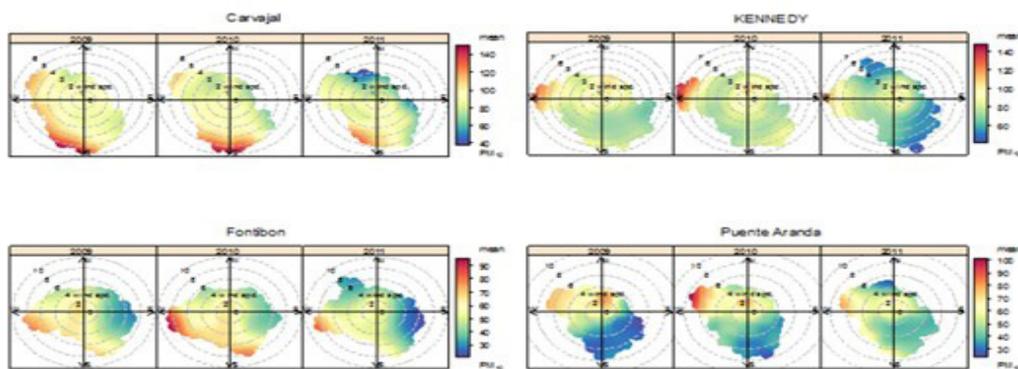
## RESULTADOS

### Concentraciones y procedencia del $PM_{10}$

La figura 2 presenta los gráficos polares de concentración de  $PM_{10}$  para las estaciones y el período seleccionados. Las estaciones Kennedy (Ken) y Carvajal (Car) reportan concentraciones de alrededor de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Fontibón (Fon), Puente Aranda (PAra) y Tunal (Tun)  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , asociadas a bajas velocidades del viento, indi-

cando una influencia de fuentes locales. Sin embargo, para las estaciones Kennedy y Carvajal, se presentan valores más elevados, de entre 120 y 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cuando se registran vientos del oeste con velocidades superiores a 5 m/s, lo cual sugiere una influencia significativa de fuentes regionales. De manera similar, los valores máximos en Puente Aranda y Tunal, del orden de 80 a 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se presentan cuando se registran vientos con altas velocidades procedentes de las direcciones oeste y oeste-noroeste. Esta asociación sugiere que las fuentes localizadas en Soacha y los municipios de la provincial Sabana Occidente pueden tener influencia sobre la contaminación registrada al

occidente y suroccidente de Bogotá. Adicionalmente, en la estación Carvajal se presentan valores altos de concentración de  $\text{PM}_{10}$ , 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con vientos que llegan con dirección sur-suroeste/sur-sureste, los cuales no son identificados en forma similar por las estaciones cercanas. Observando la fotografía satelital se puede inferir que corresponde a una fuente natural de región árida en dicha dirección. El hecho de que esta fuente no sea identificada por las otras estaciones indicaría que esas partículas corresponderían a un tamaño tal que se facilitarían su remoción por sedimentación en su avance posterior hacia la estación Carvajal.



**Figura 2 a.** Gráfico polar de la concentración de  $\text{PM}_{10}$  para períodos anuales entre 2009 y 2011, estaciones Carvajal, Kennedy, Fontibón y Puente Aranda de la RMCAB

Las estaciones Simón Bolívar (SBol) y Ferias (Fer) presentan los máximos valores de concentración, entre 60 y 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con vientos que proceden del oeste y en todo el rango de velocidades por debajo de 5 m/s (figura 2). Los vientos procedentes del oeste están asociados a altas concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  en estas estaciones centrales de la ciudad, lo cual indica una fuerte influencia de la contaminación generada al occidente, por fuentes industriales y vehiculares.

En Usaquén (Usa) se registran valores máximos de entre 50 y 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para vientos que llegan de las direcciones oeste y norte, en todo el rango de velocidades por debajo de 4 m/s. Para las estaciones Suba (Sub) y Guaymaral (Gua), para vientos dentro del rango de velocidades superiores a 3 m/s no se observa una condición uniforme para los 3 años del período

de análisis (figura 2). Para viento en calma se encuentran valores de concentración de entre 50 y 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , manteniéndose aproximadamente constante en los tres años período, siendo dicho comportamiento típico del tráfico vehicular.

La figura 3 muestra los gráficos polares de cada estación de la RMCAB con valor promedio de concentración consolidado para el período 2009-2011.

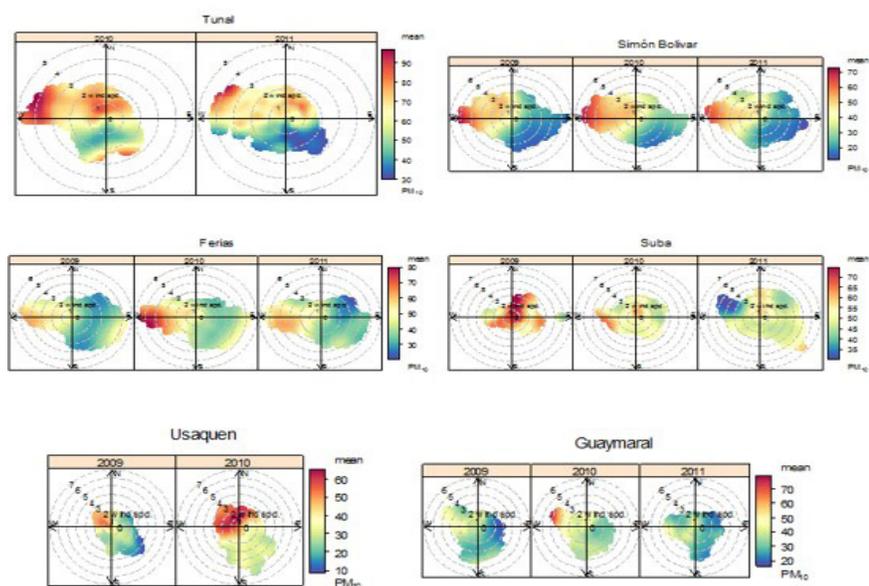


Figura 2 b. Gráfico polar de la concentración de  $PM_{10}$  para períodos anuales entre 2009 y 2011, estaciones Tunal, Simón Bolívar, Férias, Suba, Usaquén y Guaymaral de la RMCAB

### Análisis temporal

Los gráficos polares para las concentraciones de  $PM_{10}$  medidas en las estaciones de la RMCAB para el período 2009-2011 (figura 2), mostraron que los valores de las máximas concentraciones para este contaminante fueron más altos para 2010 que para 2009 y 2011 en la mayoría de las estaciones. Se podría asociar este comportamiento a la comparación de temperaturas superficiales para los tres años del período, en el cual, el año 2010 fue más caluroso de acuerdo al reporte de las temperaturas promedio de las estaciones (SDA,2011).

La figura 4 muestra las concentraciones máximas de  $PM_{10}$  para cada uno de los meses del año en las estaciones Kennedy, Carvajal, Fontibón y Puente Aranda. Los valores son muy variables a lo largo del año. En general, se encuentran los mayores valores durante el primer trimestre y al final de cada año, en especial cuando se presentan vientos de alta velocidad provenientes del oeste. En contraste, los valores de las máximas concentraciones registradas con vientos en calma (influencia de fuentes locales) no muestran variaciones significativas a lo largo del año. Adicionalmente, se observa que la estación Carvajal, en particular, presenta valores muy altos, entre 100 y 140  $\mu g/m^3$ , cuando los vientos provienen del sur, sin cambios importantes a través del año.

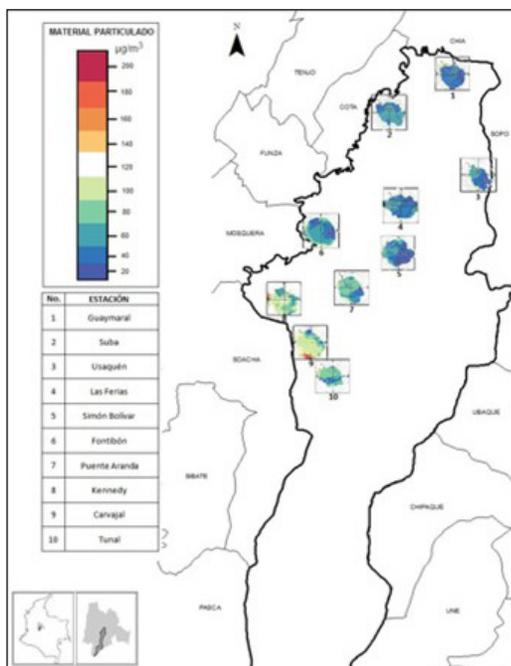


Figura 3. Diagramas polares para las concentraciones de  $PM_{10}$  de las estaciones de la RMCAB

Fuente: ArGis

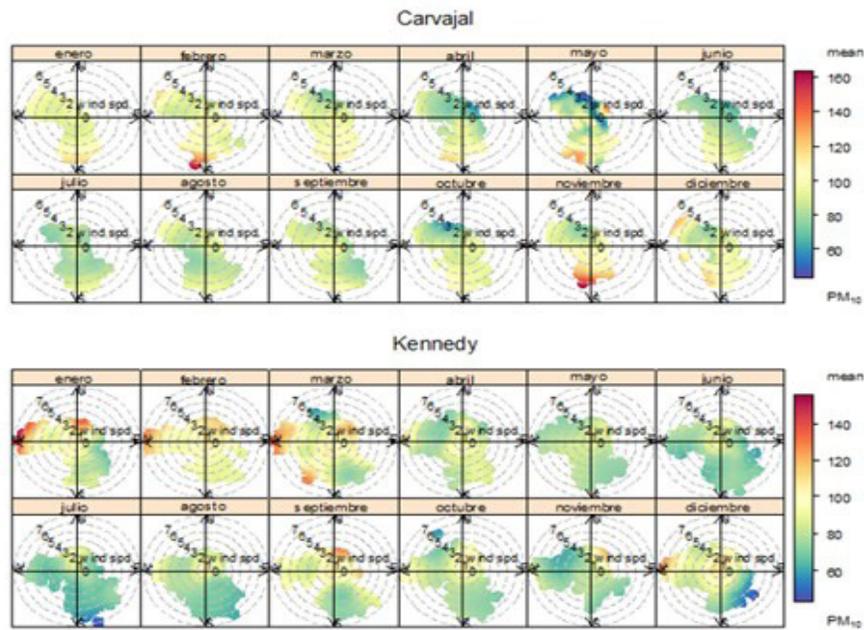


Figura 4 a. Gráfico polar de las concentraciones para períodos mensuales entre 2009 y 2011 de las estaciones Carvajal y Kennedy de la RMCAB

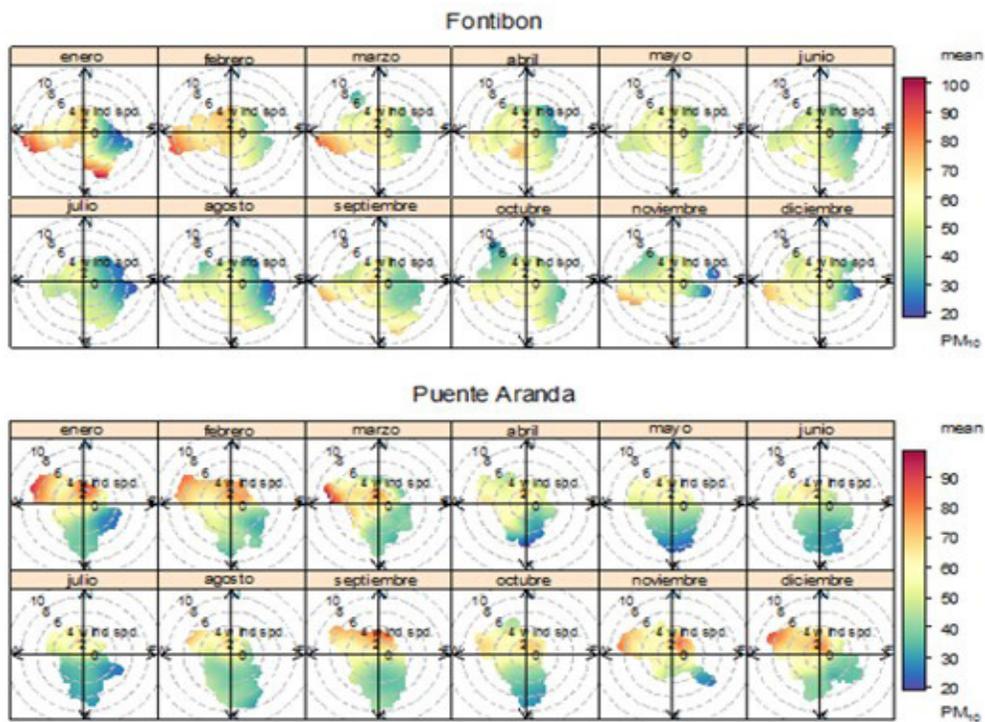
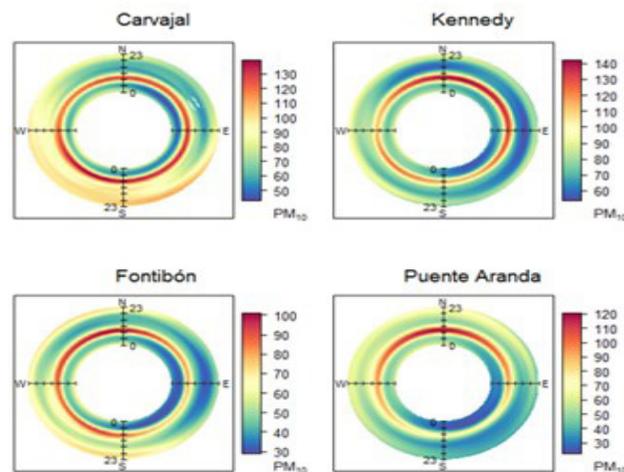


Figura 4 b. Gráfico polar de las concentraciones de PM10 para períodos mensuales entre 2009 y 2011 de las estaciones Fontibón y Puente Aranda de la RMCAB

Los gráficos polares anulares por hora del día para la concentración de  $PM_{10}$  (figura 5), muestran que las concentraciones más altas registradas en las estaciones Carvajal, Kennedy, Fontibón, Puente Aranda y Tunal se presentan entre las 8:00 a.m. y las 12:00 m., sin importar la dirección de procedencia, lo cual estaría coincidiendo con la hora pico de la mañana y el comienzo de la jornada diaria de la mayoría de los procesos industriales. Las concentraciones vuelven a aumentar en menor proporción después de las 8:00 p.m. coincidiendo con la hora pico vehicular en la noche. En la estación Carvajal se mantienen concentraciones altas entre las direcciones sur y suroeste en horas de la tarde coincidiendo con la fuente natural mencionada anteriormente. En la estación Simón Bolívar, las mayores concentraciones se presentan entre las 8:00 a.m. y las 12:00 m., principalmente para vientos de las direcciones comprendidas en el cuadrante norte-oeste y concentraciones relativamente altas en las últimas horas del día en las mismas direcciones. Los

vientos en el cuadrante sureste, en cambio, presentan concentraciones bajas durante casi todo el día. Una situación similar se presenta para la estación Ferias, que es también una estación en la zona central de la ciudad. Este comportamiento está asociado con todas las vías importantes y el sector industrial que se encuentran al oeste de estas estaciones.

En las estaciones Suba y Guaymaral se presentan dos horarios de valores máximos, de 8:00 a.m. a 12:00 m. y en las horas finales del día, después de las 8:00 p.m., con vientos principalmente del cuadrante norte este, comportamiento típico de fuentes vehiculares. En Usaquén, las más altas concentraciones se presentan con vientos del cuadrante norte-oeste entre 8:00 a.m. y 12:00 m., coincidiendo con la hora pico de la mañana y se mantienen en niveles altos durante la tarde. Este último comportamiento de la concentración en esta estación no es muy claro dada la lejanía de esta con respecto a los grandes centros industriales.



**Figura 5a.** Gráfico polar anular que muestra la variación de la concentración de  $PM_{10}$  por hora del día para el período 2009-2011, estaciones Carvajal, Kennedy, Fontibón y Puente Aranda de la RMCA

### Concentraciones y procedencia del $PM_{2.5}$

La figura 6 presenta los mayores valores de concentración de  $PM_{2.5}$  en la estación Kennedy, los cuales parecen provenir de dos tipos de fuentes. La primera, con valores de concentración fluctuando entre 30 y 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se presenta con vientos que vienen del oeste entre las direcciones oeste-suroeste y oeste-noroeste, con valores de velocidad superiores a 6 m/s, lo que podría suponerse que es  $PM_{2.5}$  generado regionalmente por

fuentes en esa dirección. Los valores más altos se presentan en los períodos entre enero y marzo y entre agosto y septiembre. La segunda fuente de contaminación se asocia con vientos en calma, a velocidades bajas del viento y en todas las direcciones, con valores de entre 30 y 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , aproximadamente, lo cual podría considerarse como de generación primaria por fuentes locales, con procesos de combustión. Los valores de la concentración de  $PM_{2.5}$  para esta estación muestran una disminución entre 2010 y 2011.

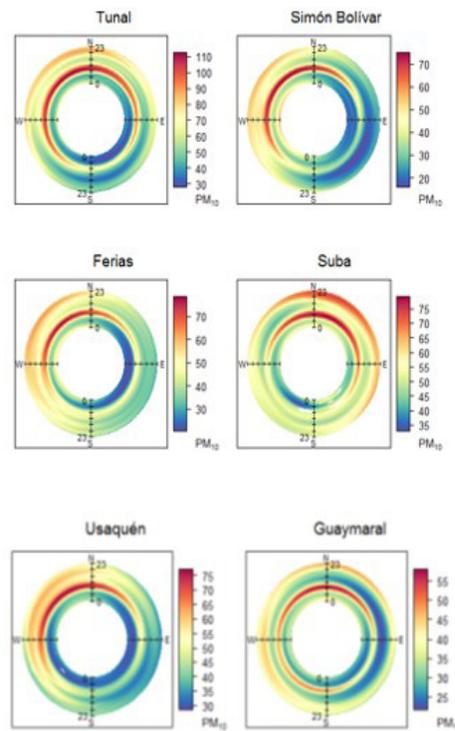


Figura 5b. Gráfico polar anular que muestra la variación de la concentración de PM<sub>10</sub> por hora del día para el período 2009-2011, estaciones de la RMCAB

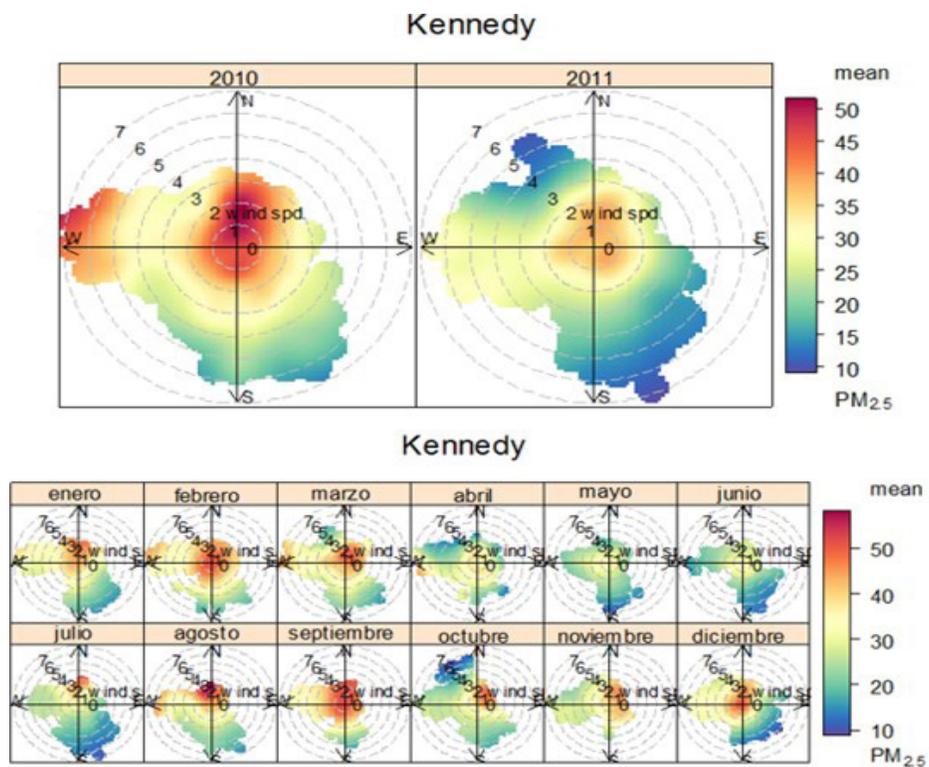
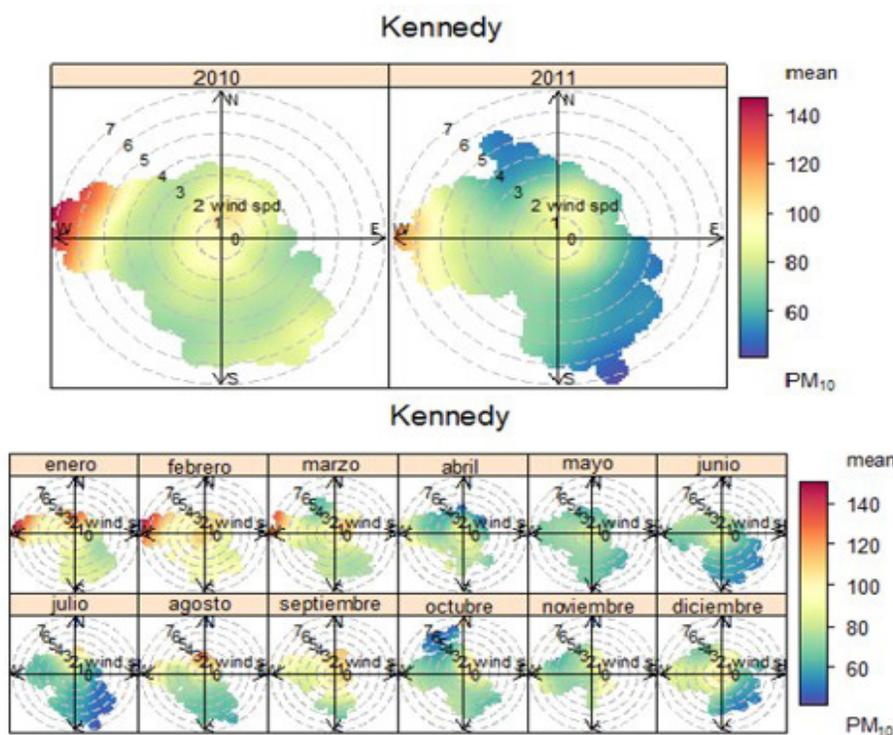


Figura 6. Gráfico polar de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> de la estación Kennedy por años (parte superior) y por meses (parte inferior) en el período 2010-2011

Al comparar las figuras 6 y 7, se observa que la asociación que existe entre las máximas concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  es fuerte. Al mismo tiempo, el gráfico polar de la relación  $PM_{2.5}/PM_{10}$  (figura 8) muestra que

los valores mayores de esta relación, los cuales indican un aerosol fresco producto de la combustión, se asocian con vientos en calma, indicando fuentes locales de combustión.



**Figura 7.** Gráfico polar de las concentraciones de  $PM_{10}$  de la estación Kennedy período de años y en la parte inferior por meses en el período 2010-2011

La figura 8 muestra que la distribución de tamaño del material particulado asociado con vientos que proceden del oeste cambia en el transcurso del año, a juzgar por el cambio que se observa en los valores de la relación  $PM_{2.5}/PM_{10}$ . Los menores valores de la relación ocurren en el primer semestre del año y los mayores en el segundo semestre. Con vientos en calma, la relación se mantiene aproximadamente constante en 0,5 durante el año.

## CONCLUSIONES

El análisis de la serie de datos de concentración de material particulado de Bogotá en el período 2009-2011, permitió evidenciar altas concentraciones de material particulado  $PM_{10}$  en las estaciones Kennedy y Carvajal, en un rango de valores de entre 120 y

140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , asociados con vientos procedentes del oeste. Adicionalmente, en la estación Carvajal se encontraron valores altos de concentración de  $PM_{10}$ , en un rango de valores de entre 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  procedentes de las direcciones sur-suroeste/sur-sureste, y en las estaciones Puente Aranda y Tunal se encontraron valores de concentración de entre 80 y 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  procedentes de las direcciones oeste y oeste-noroeste. De acuerdo a lo anterior, se sugiere que existe un transporte regional de contaminantes, desde los municipios vecinos al occidente de la ciudad (Soacha, Funza, Mosquera, Madrid) hacia su centro geográfico. De igual forma, se encontraron altas concentraciones de material particulado asociadas a bajas velocidades del viento: las estaciones Kennedy y Carvajal reportaron concentraciones de alrededor de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Fontibón, Puente Aranda y Tunal de

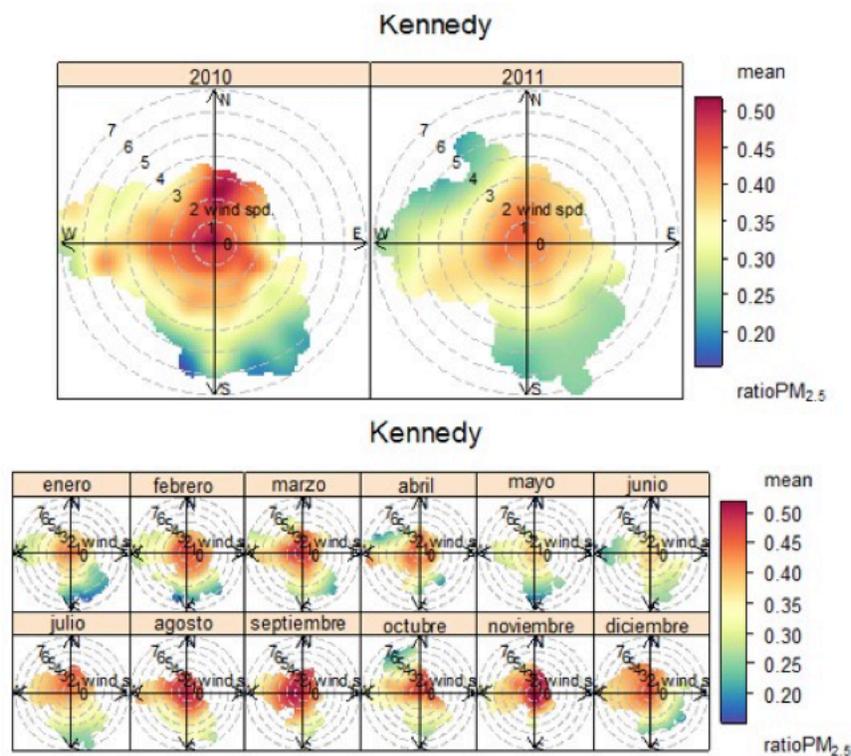


Figura 8. Gráfico polar relación  $PM_{2.5}/PM_{10}$  estación de Kennedy para el período 2010-2011

$80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , indicando una influencia de fuentes locales principalmente fuentes móviles y fuentes fijas que emplean carbón como combustible. Se requieren investigaciones posteriores donde se estudien, entre otros aspectos, la ubicación estratégica de las estaciones de monitoreo, la determinación de la composición química del material particulado en varios puntos de muestreo y en diversas fuentes emisoras, y la identificación más precisa de las fuentes regionales y locales de mayor impacto, mediante la utilización de modelos de receptor y modelos de calidad del aire.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la ingeniera Carolina Real de la Universidad Nacional de Colombia por su valiosa ayuda en la elaboración de los gráficos en ArcGis.

## REFERENCIAS

- Airparif. (2012). Source apportionment of airborne particulates in the Ile-De France région. Disponible en: [http://www.airparif.asso.fr/\\_pdf/publications/rapport-particules-anglais-120829.pdf](http://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/rapport-particules-anglais-120829.pdf)
- Behrentz, E., Sánchez, N. & Fandiño, M. (2008). Inventario de emisiones de fuentes fijas, definición de elementos técnicos para la formulación de políticas distritales encaminadas al mejoramiento de la calidad de aire de Bogotá. Centro de Investigación en Ingeniería Ambiental (CIIA).
- Carlaw, D. (2015) Openair: The Openair manual open-source tools for analysing air pollution data. Disponible en: <http://www.openair-project.org/downloads/openairmanual.aspx>
- Defra. (2005). Particulate Matter in the United Kingdom - Summary. Disponible en: [http://ukair.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat11/1212141150\\_AQEG\\_Fine\\_Part particulate\\_Matter\\_in\\_the\\_UK.pdf](http://ukair.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat11/1212141150_AQEG_Fine_Part particulate_Matter_in_the_UK.pdf)

- Defra. (2012). Fine Particulate Matter ( $PM_{2.5}$ ) in the United Kingdom. Disponible en: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69635/pb13837-aqeg-fine-particle-matter-20121220.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69635/pb13837-aqeg-fine-particle-matter-20121220.pdf)
- Kent, A. & Carslaw, D. (2009). Analysis of air pollution in North Lincolnshire, Institute for Transport Studies, University of Lee. Disponible en: [http://www.nlincsair.info/documents/reports/128090223\\_NorthLincs\\_R\\_Project\\_Report.pdf](http://www.nlincsair.info/documents/reports/128090223_NorthLincs_R_Project_Report.pdf)
- Lelieveld, J., Evans, S., Fnais, M., *et al.* (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525, 367-371. doi:10.1038/nature15371.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)
- Ortiz, E. & Rojas, N. (2012). Estimación de los beneficios económicos en salud asociados a la reducción de  $PM_{10}$  en Bogotá. *Rev. Salud Pública*, 15(1), 90-102, 2013. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/38444/4391>
- Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D. C. 2011-2023. Disponible en: [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=969c5996-6f71-4c1d-a3b9-504dc-c2f706a&groupId=55886](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=969c5996-6f71-4c1d-a3b9-504dc-c2f706a&groupId=55886)
- Sniffer. (2010).  $PM_{2.5}$ . Disponible en: <http://www.aqconsultants.co.uk/AQC/media/Reports/SNIFFER-PM25-Rept-Final-201210.pdf>
- Universidad Militar. (2008). Elaboración del inventario de fuentes móviles en jurisdicción de la CAR y actualización del inventario de fuentes fijas, incluyendo gases de efecto invernadero. Disponible en: [http://cendoc.car.gov.co/cgiin/wxis.exe?IscScrip=OPAC\\_SCRIPT/opac.xis&base=fichC&=buscar&autor=Universidad%20Militar%20Nueva%20Granada&formato=ficha](http://cendoc.car.gov.co/cgiin/wxis.exe?IscScrip=OPAC_SCRIPT/opac.xis&base=fichC&=buscar&autor=Universidad%20Militar%20Nueva%20Granada&formato=ficha)
- World Health Organization. (2006). Airw Quality Guidelines Global Update 2005. Disponible en: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf)

# Aplicación de tres índices bióticos en el río San Juan, Andes, Colombia

Mailedt Paola Murillo Torrentes,<sup>1\*</sup> Orlando Caicedo Quintero,<sup>1</sup> Esnedy Hernández Atilano,<sup>1</sup> Heazel Grajales Vargas,<sup>1</sup> Jenny A. Mesa V.,<sup>2</sup> Fernando A. Cortés,<sup>2</sup> Fabio de Jesús Vélez Macías,<sup>1</sup> Néstor Jaime Aguirre Ramírez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Grupo GeoLimna calle 67 N° 53-108 Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>Universidad de Antioquia, seccional Suroeste, Andes, Antioquia, Colombia

Autor para correspondencia: [grupogeolimna@udea.edu.co](mailto:grupogeolimna@udea.edu.co)

## RESUMEN

Durante los meses de febrero, mayo, agosto y octubre del año 2014, se evaluó la calidad del agua del río San Juan. Para tal fin se establecieron seis puntos de muestreo donde se recolectaron muestras de agua y macroinvertebrados acuáticos para los análisis fisicoquímicos e hidrobiológicos. Se aplicaron y modificaron los índices bióticos EPT (efemerópteros, plecópteros, tricópteros), BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party) y ASPT (Average Score per Taxon) basados en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos capturados. Los resultados de las variables fisicoquímicas y los índices bióticos indican que las estaciones E1 y E2 son las que presentan menor grado de contaminación, en las demás estaciones disminuye considerablemente la calidad del agua debido a las actividades económicas desarrolladas en el sector y a su cercanías con el casco urbano del municipio de Andes. De los tres índices analizados, el ASPT modificado y adaptado al río San Juan es el que mejor se relaciona con las condiciones ambientales del río en tanto las características de los macroinvertebrados acuáticos recolectados y analizados en el trayecto objeto de estudio.

**Palabras clave:** río San Juan, variables fisicoquímicas, macroinvertebrados acuáticos, índices bióticos, calidad del agua.

**Editor:** Hernández Fernández, J.  
[javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

**Citation:** Murillo-Torrentes, M.P., Caicedo-Quintero, O., Hernández-Atilano, E., Grajales Vargas, H., Mesa, J.A., Cortés, F.A., Vélez-Macías, F. Aguirre-Ramírez, N.J. (2016). Aplicación de tres índices bióticos en el río San Juan, Andes, Colombia. *Mutis* 6(2), 59-73, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1151>

**Received:** Junio 28, 2016. **Accepted:** Julio 30, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

**Copyright:** ©2016: Murillo-Torrentes, M.P., Caicedo-Quintero, O., Hernández-Atilano, E., Grajales Vargas, H., Mesa, J.A., Cortés, F.A., Vélez-Macías, F. Aguirre-Ramírez, N.J. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Competing Interests:** The authors have no conflict of interest.

## Application of three biotic indexes in the river San Juan, Andes, Colombia

### ABSTRACT

During the months of February, May, August and October 2014, the water quality of the San Juan River was assessed. To this aim, six sampling points were established, where water samples and macroinvertebrates for physical-chemical and hydrobiological analysis were collected. Three biotic indexes were applied and one modified: EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), BMWP /



Col (Biological Monitoring Working Party) and ASPT (Average Score per Taxon) based on the captured communities of aquatic macroinvertebrates. The results of the physical-chemical variables and biotic indexes indicate that E1 and E2 stations are those with lower degree of contamination, other stations considerably decreased water quality due to economic activities around, and the short distance with the urban municipality of Andes. Of the three indexes analyzed, modified and adapted, ASPT the San Juan River has the best approximation between the environmental conditions of the river and the characteristics of the aquatic macroinvertebrates collected and analyzed on the route under study.

**Keywords:** San Juan River, physicochemical variables, aquatic macro-invertebrates, biotic indexes, water quality.

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un tema de gran interés para los países desarrollados y subdesarrollados debido a la expansión de las fronteras agrícolas e industriales, al crecimiento poblacional y a la amenaza de cambio climático como causa de alteraciones al ciclo hidrológico (ONU-DAES, 2015). Un ecosistema es el resultado de las interacciones entre los seres vivos y las condiciones físicas y químicas existentes en un hábitat acuático, siendo este el más afectado, no solo por los cambios climáticos, sino además por las intervenciones del ser humano, dichas intervenciones han sido generadas por actividades tales como la minería, la agricultura, la ganadería extensiva, y el uso inapropiado de pesticidas y plaguicidas en los cultivos, cuyos componentes tienen como destino final los ambientes acuáticos debido a fenómenos naturales como la escorrentía. Esto, sin contar con las descargas de aguas residuales por parte del creciente desarrollo de las poblaciones y asentamientos urbanos dentro de las cuencas hidrográficas (Zapata, 2014).

Uno de los requerimientos que necesitan ser enfrentados para realizar un diagnóstico de las condiciones ambientales de un cuerpo de agua y establecer el estado de saprobiedad, es la definición de metodologías que relacionan variables físicas, químicas y biológicas (Roldán, 2003). Entre las metodologías propuestas se encuentra la medición de variables físicas tales como el caudal y la velocidad de la corriente, variables químicas

como las concentraciones de oxígeno disuelto, el pH, la conductividad eléctrica y la demanda química de oxígeno. Como complemento se usan los índices basados en la presencia y abundancia de organismos entre los cuales se encuentran algas, virus, protozoos, bacterias, peces, macrófitas y macroinvertebrados acuáticos (Ladrera, *et al.*, 2013).

En este estudio se evaluó la calidad del agua del río San Juan en seis estaciones y cuatro campañas de muestreo realizadas en el año 2014 mediante la aplicación de los índices bióticos BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party), ASPT (Average Score per Taxon) y el EPT (efemerópteros, plecópteros y tricópteros), determinando las posibles variaciones espaciotemporales de la calidad del agua del río y su asociación a las posibles afectaciones o alteraciones de las condiciones del río.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

La cuenca del río San Juan se localiza en el suroeste antioqueño, nace aproximadamente a 4000 msnm en el cerro de Paramillo con el nombre de Docató, al descender a los 1400 msnm recorre los municipios de Andes, Jardín, Bolívar, Salgar, Hispania y Betania (Municipio de Andes, 2000). En esta cuenca el uso de plaguicidas, herbicidas y demás químicos utilizados en la agroindustria del café presenta un importante impacto en la calidad del agua del río (Departamento Administrativo de Planeación, 2009). Según el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Urbano de Andes (Municipio de Andes, 2000), las principales problemáticas que enfrenta el río San Juan son las actividades agrícolas, los vertimientos de aguas residuales domésticas y la falta de planificación y conciencia ambiental, lo que conlleva a la contaminación y manejo inadecuado del recurso.

### Ubicación de las estaciones de muestreo

Para definir el número y localización de las estaciones de muestreo se realizó una visita de reconocimiento donde se establecieron seis puntos que involucraran aspectos naturales y de impacto en el río San Juan, de esta forma se ubicaron dos puntos iniciales antes del casco urbano del municipio de Andes, dos intermedios finalizando el casco urbano y dos después del casco urbano del pueblo en cercanía a la desembocadura del

río San Juan en el río Cauca. La localización de cada estación de muestreo se muestra en la tabla 1 con sus

respectivas coordenadas y una breve descripción de las zonas.

**Tabla 1.** Coordenadas de las estaciones de muestreo

N°	Nombre de la estación	Coordenadas		Descripción
		Norte	Oeste	
E1	Charco Corazón	5° 35' 12,57"	75° 48' 44,78"	Pocos asentamientos humanos, se observaron algunas descargas de aguas residuales y sitios destinados a la recreación.
E2	Aguas arriba de la quebrada La Chaparrala	5° 38' 58,52"	75° 52' 28,79"	Existen asentamientos humanos ubicados al margen izquierdo de la corriente, descargas directas de aguas residuales domésticas. Se desarrollan actividades domésticas como son el lavado de ropa y utensilios de cocina.
E3	Comfenalco	5° 41' 20,35"	75° 52' 37,54"	Ubicada a unos metros después del municipio de Andes, no se observaron asentamientos ni descargas directas.
E4	Universidad de Antioquia	5° 41' 26, 28"	75° 52' 44,00"	Gran presencia de rocas y arenas más finas en comparación con las estaciones anteriores. Allí se encontró localizada una cantera, afectando en gran medida el aspecto paisajístico del lugar y el lecho del río.
E5	Remolinos	5° 50' 51,80"	75° 54' 54,26"	Su cercanía con el tramo vial facilita la llegada de residuos sólidos a la fuente de agua. Presencia de grandes rocas distribuidas a lo largo y ancho del tramo lo cual es un factor que se considera, permite una alta oxigenación del agua acelerando el proceso de degradación de la materia orgánica presente en este tramo del río.
E6	Peñalisa	5° 55' 57,07"	75° 51' 35,14"	Localizada a unos metros de la desembocadura del río San Juan en el río Cauca. La margen derecha con alta vegetación arbórea, mientras que en la margen izquierda la vegetación es básicamente de matorral.

Toma de muestras. La obtención y el análisis de las muestras fisicoquímicas se hicieron de acuerdo con el procedimiento establecido en el Standard Methods

(2012). Las variables evaluadas en este estudio fueron: temperatura del agua, temperatura del ambiente, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica,

porcentaje de saturación de oxígeno, y sólidos disueltos y turbiedad (medición realizada en el sitio con la ayuda de una sonda multiparamétrica marca Hach). Para la medición de las demás variables como dureza, DQO, alcalinidad y nutrientes, se recogieron muestras de agua que fueron preservadas en hielo y llevadas al Laboratorio de Ciencias de la Tierra de la seccional Suroeste de la Universidad de Antioquia.

La recolección de los macroinvertebrados acuáticos involucró metodología cualitativa y cuantitativa. Para la ejecución cualitativa se utilizó una red triangular con el fin de capturar los organismos presentes en la vegetación de ribera, además se realizó una recolección manual de las comunidades adheridas al sustrato rocoso. Para el muestreo cuantitativo se tomaron dos réplicas en cada sitio empleando una red Surber en contracorriente (Aguirre & Caicedo, 2013). Los organismos recolectados en ambos tipos de muestreos se depositaron en recipientes plásticos fijados con alcohol al 70%, cada recipiente debidamente rotulado con fecha, estación y tipo de muestreo, se transportó al Laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia para su determinación y conteo (Aguirre & Caicedo, 2013).

La caracterización y conteo de los organismos capturados con ambos métodos (cualitativo y cuantitativo) se realizó de la siguiente manera: se depositó cada muestra en una caja de Petri y con la ayuda de un estereomicroscopio Karl Zeiss, se agruparon los organismos similares con base en sus afinidades morfológicas, teniendo como base las claves taxonómicas referenciadas por Roldán (1988; 2003); McCafferty (1981), Domínguez y Fernández (2001), Posada y Roldán (2003), y Domínguez y Fernández (2009). La información obtenida de la caracterización de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en campo, se sintetizó en una tabla definiendo para cada organismo el orden, familia, género y toda la información necesaria para la aplicación y análisis de los índices BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party), ASPT (Average Score per Taxon) y el EPT (efemerópteros, plecópteros, tricópteros), logrando así una aproximación del estado de saprobiedad del río San Juan en los tramos objeto de estudio.

Para cumplir con uno de los objetivos propuestos en esta investigación, al índice BMWP/Col se le hicieron algunas modificaciones y se compararon los puntajes resultantes de ambas versiones.

### Modificaciones realizadas al índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party)

En la versión del índice BMWP/Col modificado para el río San Juan, se excluyó de los resultados a *Leptonema* sp., perteneciente a la familia Hydropsychidae, debido a que *Leptonema* sp. se considera un género que habita ambientes con amplios rangos de saprobiedad (Guevara, 2004) una apreciación similar a la anotada para *Leptonema* sp., también se aplicó para descartar a *Simulium* (Diptera) de la familia Simuliidae. La presencia de estos taxa están más relacionados con el tipo y abundancia del sustrato en el cual se encuentran, ya que un sustrato rocoso le permite a *Simulium* sp. adherirse fuertemente a este, y a *Leptonema* sp. construir redes, y de esta manera ambos organismos evitan ser arrastrados por las fuertes corrientes y además les permite filtrar la materia orgánica suspendida que transportan las corrientes sometidas a esta condición hidráulica (Margalef, 1983; Domínguez & Fernández 2009; Ruiz, 2012).

De la familia Hydropsychidae se incluyó en la estructura del índice BMWP/Col modificado para el río San Juan (tabla 2) a los géneros *Smicridea* sp. y *Metrichia* sp., con un puntaje de nueve en contraste con el de siete determinado en el BMWP/Col adaptado para Antioquia por Roldán (2003). La presencia de estos taxa se relaciona con ambientes donde predomina una muy baja contaminación orgánica (Guerrero *et al.*, 2003; Caicedo *et al.*, 2004, Valverde *et al.*, 2009; Springer, 2010).

A los anélidos de la clase Oligochaeta se les asignó un puntaje de uno, ya que según Gaviria (1993) los oligoquetos alcanzan altas poblaciones en ambientes muy deteriorados. Por su lado, la familia Chironomidae se representó con un puntaje de cuatro en la versión del índice modificado para el estudio realizado en el río San Juan, en contraste con el valor de dos estipulado en el BMWP/Col. Lo anterior, teniendo en cuenta que no todos los taxa de macroinvertebrados pertenecientes a la familia Chironomidae se pueden asociar con deterioro ambiental.

Según Subodh *et al.* (2005), los dípteros de la familia Chironomidae pueden subsistir en ambientes con amplios rangos de concentraciones de oxígeno, temperatura, pH, conductividad eléctrica y velocidad de la corriente. Sin embargo, algunas referencias bibliográficas (Scheibler *et al.*, 2008; Milán *et al.*, 2011) re-

lacionan al género *Chironomus* sp. de la familia Chironomidae con presencia de materia orgánica en descomposición, razón por lo cual se incluyó este género con un valor de dos en la versión del índice BMWP/Col modificado para el río San Juan (tabla 2).

De igual manera, en la tabla 2 se incluyen dos órdenes de anélidos: oligochaeta e hirudinea, donde se asume que todos los organismos pertenecientes a estos órdenes de macroinvertebrados se relacionan con aguas muy contaminadas y por lo tanto, se les asigna valores bajos de uno y dos respectivamente en la versión modificada y adaptada para el río San Juan.

A los representantes de la familia Physidae se les concede un valor de dos, en comparación con el nivel de tres que se exhibe en el BMWP/Col de Roldán (2003).

Otras de las modificaciones tienen que ver con la familia Elmidae (Coleóptera) a la cual se le asignó un punto más en la versión modificada en comparación con el valor establecido en el BMWP/Col. Para Puig (1981), la presencia y distribución de los Elmidae se encuentra asociada a zonas con bajo grado de alteración antrópica.

La familia Baetidae se representó en la tabla 2 con un punto menos que el estipulado en el BMWP/Col. Las características ecofisiológicas de Baetodes y Camelobaetidium, dos de los tres taxa de Baetidae identificados en este estudio, fueron determinantes para la toma de esta decisión. En la tabla 2 se presenta el total de familias de macroinvertebrados acuáticos determinadas en esta investigación y los puntajes asignados a cada una de ellas.

**Tabla 2.** Índice biótico BMWP/Col modificado y adaptado para el río San Juan

FAMILIA	PUNTAJE
Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactilidae, Gomphidae, Perlidae	10
Ampullariidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae ( <i>Smicridea</i> sp., <i>Metrichia</i> sp.), Tricorythidae, Leptohyphidae, Elmidae	9
Leptoceridae, Veliidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae	8
Calopterygidae, Planariidae (Dugesiidae)	7
Corydalidae, Staphylinidae, Libellulidae, Baetidae, Helicopsychidae	6
Pyralidae	5
Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Chironomidae	4
Psychodidae, Ceratopogonidae, Hydrophilidae, Tipuliidae.	3
Hirudinea (clase), Physidae, Chironomidae ( <i>Chironomus</i> sp.)	2
Oligochaeta (clase)	1

Adicionalmente a los cambios realizados en los valores otorgados a las familias, se propuso una nueva escala de valores (tabla 3) en comparación con las establecidas en el BMWP/Col de Roldán (2003). Para la

elaboración de esta tabla se le asignó a cada clase, valores más equitativos con rangos de 24 puntos entre cada una de estas.

**Tabla 3.** Calidad, escala de valores, color y significado ambiental para BMWP/Col modificado y adaptado para el río San Juan

Clase	Calidad	Valor	Significado	Color
I	“Buena”	>150, 103-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	“Aceptable”	79-103	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	“Dudosa”	50-78	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	“Crítica”	25-49	Aguas muy contaminadas	Anaranjado
V	“Muy crítica”	<24	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

La mayoría de representantes del orden Ephemeroptera durante su estado de ninfa viven en aguas corrientes limpias con altas concentraciones de oxígeno disuelto (Roldán 1988). Los plecópteros al igual que los tricópteros habitan en corrientes de buena calidad (Roldán, 1988; Springer 2010). Dado que dentro de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera existen algunos organismos que pueden tolerar cierto grado de contaminación, se aplicó en esta investigación una versión modificada y adaptada para el río San Juan. Para tener una información lo más precisa posible sobre este particular, se revisó cierta información secundaria (Roldán, 1988; Fernández *et al.*, 2002; Álvarez *et al.*, 2005; Álvarez *et al.*, 2007; Ramírez *et al.*, 2011, González, 2008; y González *et al.*, 2013).

### Modificaciones realizadas al índice EPT

Se excluyó a los representantes capturados de la familia Baetidae (Ephemeroptera). De igual manera, no se tuvo en cuenta al tricóptero *Helicopsyche* perteneciente a la familia Helicopsychidae, dado que es un género que se encuentra asociado a corrientes con cierto nivel de contaminación orgánica (Caicedo *et al.*, 2004). Adicionalmente, este es un tricóptero que resiste presiones ocasionadas por la pendiente y la velocidad de la corriente, por lo cual se le facilita la ubicación en casi cualquier sitio a lo largo del cauce (Posada & Roldán, 2003).

Los organismos pertenecientes a los coleópteros se caracterizan por habitar corrientes con altos niveles de oxígeno disuelto (Domínguez & Fernández, 2001). Siguiendo con esta condición atribuida a los coleópteros, se incluyó a la familia Elmidae como parte del índice EPT según versión adaptada y modificada para el río San Juan.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

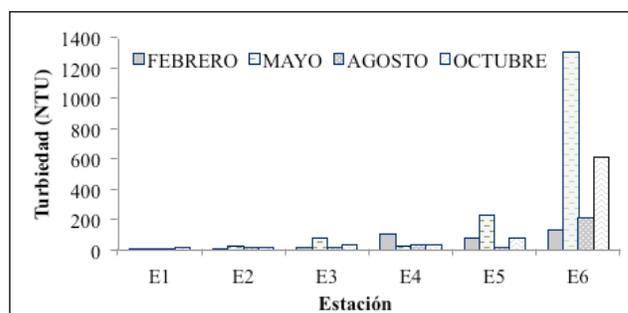
### Variables fisicoquímicas

En la figura 1A se observa un aumento en los valores de turbiedad a medida que se recorren las estaciones. Los menores puntajes se registraron en la primera fecha de muestreo realizada en el mes de febrero con 5,68 UNT en E1 y los mayores fueron alcanzados en E6 en el mes de mayo con 1306 UNT. El valor tan elevado obtenido en la última estación puede deberse a la gran cantidad de sólidos con los que llega el río Bolívar a su desembocadura en el río San Juan aguas abajo de

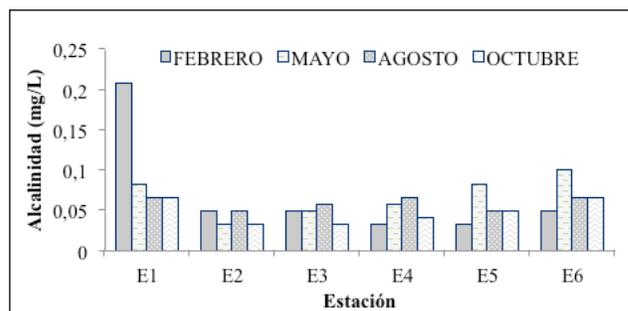
la estación 5 y a la intensidad de las precipitaciones, lo cual conlleva a un aumento en el caudal y en la velocidad de la corriente generando mayor arrastre de sólidos (Bustamante *et al.* 2014).

En la figura 1B se observan los rangos de valores para la alcalinidad, los cuales estuvieron entre 0,0332 y 0,2075 mg/l, encontrándose las menores concentraciones de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos en los meses de mayo y octubre, esto causado posiblemente por las fuertes precipitaciones presentadas en dichas épocas lo cual generó la dilución de las especies iónicas (C. de Esparza, 1987).

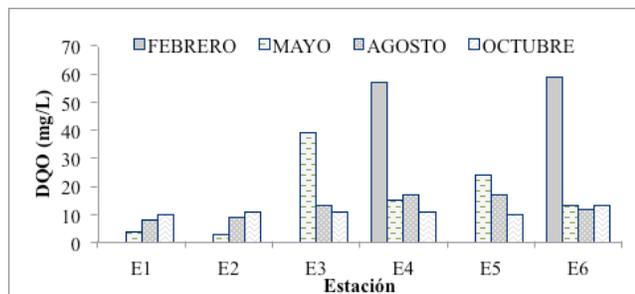
En este caso (figura 1C) todos los valores presentados estuvieron por debajo de 60 mg/l indicando aguas de calidad aceptable (RAS 2000). Sin embargo, dichas concentraciones se deben en gran medida al vertimiento de los residuos sólidos y líquidos (lixiviados) generados por materia orgánica proveniente de subproductos de la agroindustria del café, siendo esta la principal actividad económica de la zona (Olmos, 2015).



1A. Turbiedad



1B. Alcalinidad



1C. Demanda química de oxígeno

Figura 1. Variación espaciotemporal de la turbiedad en el río San Juan

El análisis de componente de varianza (tabla 4), muestra que el factor muestreo tuvo un mayor porcentaje de incidencia en la variable redox con 92,37%, con-

tinuado por la dureza total con 90,62%, seguido por el pH cuyo aporte equivale al 80,77%, y finalmente la conductividad con 52,25%, todos ellos con altos porcentajes. El factor estación presentó su mayor efecto sobre las variables DQO (99,73%), turbidez (99,48%), nitrógeno amoniacal (97,68%), alcalinidad (97,41%), ortofosfatos (84,94%), temperatura del agua (83,75%), nitrógeno total (81,55%), saturación de oxígeno (81,2%), fósforo total (76,3%), nitratos (64,5%) y finalmente el oxígeno (60,89%). Por su lado el factor réplica no presentó altos porcentajes en el análisis de componentes, dado que los valores más elevados los presentaron las variables oxígeno y saturación de oxígeno con 19,91% y 11,25% respectivamente, los demás estuvieron por debajo del 10%.

Tabla 4. Análisis de componentes de varianza para el río San Juan

Variable	Componente		
	Muestreo (%)	Estación (%)	Réplica (%)
Temperatura del agua	7,78	83,75	8,47
Oxígeno	19,2	60,89	19,91
Saturación de oxígeno	7,55	81,2	11,25
Conductividad	52,25	41,8	5,96
pH	80,77	14,04	5,19
Redox	92,37	6,8	0,83
Turbidez	0,00	99,48	0,52
Alcalinidad	0,00	97,41	2,59
Nitratos	34,51	64,5	0,99
Nitrógeno amoniacal	1,39	97,68	0,93
Nitrógeno total	18,23	81,55	0,22
Fósforo total	23,36	76,3	0,34
Ortofosfatos	6,98	84,94	8,08
Dureza total	90,62	6,67	2,71
DQO	0,00	99,73	0,27

Las variables redox, dureza, conductividad y pH, se vieron afectadas principalmente por el factor muestreo, debido principalmente al contraste que hay en la química del agua entre la época seca y la época de mayor pluviosidad. Los muestreos de febrero y agosto fueron realizados en época seca, mientras que los de mayo y octubre se realizaron en época de lluvias, lo que posiblemente provocó el arrastre masivo de sólidos y desechos generados por la agroindustria del

café y el arrastre del suelo debido a las altas pendientes de la zona. Por su parte el factor estación influyó sobre la mayoría de las variables, debido a que las estaciones ubicadas aguas abajo reciben sólidos suspendidos y disueltos provenientes de los afluentes entre los que se destacan los ríos Tapartó y Bolívar, este último podría estar impactando de manera significativa la parte baja del río San Juan.

### Macroinvertebrados acuáticos BMWP (Biological Monitoring Working Party)

Las familias Baetidae, Leptophlebiidae y Leptohyphidae pertenecientes al orden Ephemeroptera, Hydropsychidae (Tricóptera) y Chironomidae del orden Diptera, fueron las que registraron una mayor distribución espaciotemporal.

La familia Baetidae representada principalmente por los géneros Baetodes y Camelobaetidius, fue encontrada en todas las estaciones y períodos de muestreo. Esta es una de las familias de mayor distribución y diversidad en Suramérica, con una importancia destacada en el departamento de Antioquia (Zúñiga *et al.*, 2004).

De la familia Leptophlebiidae sobresale Thraulodes. Según Raimundi (2010), la distribución de esta familia en las aguas naturales se puede considerar limitada por su alta sensibilidad a las alteraciones ambientales. Esta sensibilidad a la contaminación se sustenta en los nueve puntos registrados en la tabla de valores BMWP/Col.

La captura de los organismos del género *Leptohyphes* de la familia Leptohyphidae se presentó en febrero y mayo en E1, E3 y E4, y en agosto y octubre en todas las estaciones. Un valor de siete en el índice biótico BMWP/Col se puede asociar con características de calidad similares a las señaladas para Baetidae.

De la familia Hydropsychidae se capturaron *Smicridea* sp., *Leptonema* sp. y *Metrichia* sp. Domínguez & Fernández (2009) señalan que los taxa pertenecientes a esta familia se pueden encontrar en todo tipo de corrientes con altos niveles de oxígeno. Utilizan las piedras, troncos y hojarasca para construir refugios. Esta familia se representa con siete puntos en la escala de valores otorgados por el índice BMWP/Col (Roldán, 2003).

La familia Chironomidae hace parte de uno de los grupos de dípteros con mayor diversidad y abundancia, condiciones importantes para conocer el funcionamiento de un reoambiente (Porinchi & McDonald, 2003). A estos organismos se les atribuye un puntaje tan bajo como dos en el BMWP/Col.

En el muestreo de febrero, los valores más altos del índice BMWP se obtuvieron en E1 y E2 con 85 y 84

puntos respectivamente (figura 2), indicando calidad aceptable o aguas ligeramente contaminadas. Las estaciones E3 y E4 registraron un valor de 47 (calidad dudosa). Por su parte en E5 y E6 se encontraron los puntajes más bajos, oscilando dentro de un rango de 10 a 15 puntos, rango numérico que se relaciona con una calidad crítica y aguas fuertemente contaminadas. En la campaña realizada en mayo, los niveles del índice alcanzaron un máximo de 50 puntos en E1, seguido por E2 con 32 y finalmente E4 con 17, notándose una disminución de la calidad del agua del río a medida que recorren las estaciones, al variar de dudosa a crítica. Cabe mencionar que en E3, E5 y E6 no se capturaron organismos en ese mes. El máximo valor alcanzado por el índice durante esta investigación fue registrado en el mes de agosto, con 90 puntos en E1, le siguen E6, E4 y E3, con puntajes de 81, 66 y 62 respectivamente, resultados que se asocian con condiciones aceptables. Para la última campaña de muestreo realizada en el mes de octubre, se reportaron, según los resultados del índice BMWP/Col, buenas condiciones ambientales en las primeras cuatro estaciones establecidas en el río San Juan, donde los puntajes oscilaron dentro de un rango comprendido entre 61 y 79, rango que representa aguas ligeramente contaminadas y de calidad aceptable.

En el muestreo de agosto se presentó la mayor diferencia en los puntajes entre una y otra versión del índice, registrando un número mayor en el BMWP/Col modificado para el río San Juan en cinco de las seis estaciones establecidas en este estudio, siendo en E1 y E3 donde más variación se presentó.

En la figura 2 se presenta una comparación de los resultados obtenidos durante la investigación realizada en el año 2014 mediante la aplicación del índice BMWP/Col modificado y sin modificar, observándose que para los meses de febrero, mayo y agosto los valores alcanzados por el BMWP/Col modificado son más altos en la mayoría de las estaciones analizadas, donde la estación uno fue la que alcanzó los máximos puntajes, con valores de 95 y 99 en febrero y agosto. Situación contraria se vivió en el mes de octubre donde predominaron los resultados del índice sin modificar en cuatro estaciones, solo en E2 sobresalió la columna con 86 puntos.

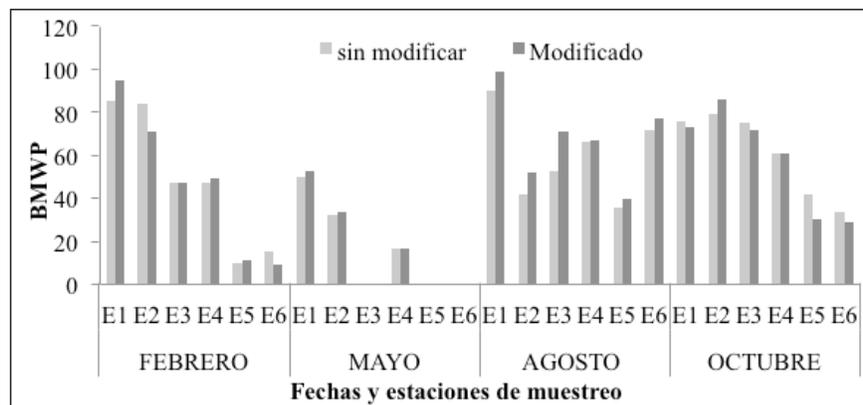


Figura 2. Comparación de los resultados del índice BMWP modificado y sin modificar

### Índice ASPT (Average Score per Taxon)

Los valores más altos del índice ASPT en febrero se alcanzaron en E2 (6,0) y E6 (7,5) en la versión donde no se modificó el BMWP/Col. Por su parte, E1 y E2 con 4,52 y 5,07 respectivamente fueron las más importantes, asociados con una calidad del agua moderadamente alta.

En contraste con los resultados reportados en febrero, en el muestreo de mayo se calcularon niveles altos (buena calidad) en E1, E2 y E4 en las dos versiones estudiadas del índice biótico BMWP. De todos estos sitios sobresale E2 con puntajes de 8,0 y 8,5, y E1 con 7,14 y 7,57 tal y como se muestra en la tabla 5, en donde también se observa que los mayores puntajes en E1 y E2 corresponden al índice ASPT al cual se le modificó el BMWP/Col. E4 registró 5,67 en ambos casos.

La no captura de organismos en mayo en E3, E5 y E6 se representa con un valor de cero y se ilustra con la palabra rojo. Esta situación es un condicionante en el análisis de resultados en el sentido que el rojo es un color que representa aguas muy contaminadas. Condición similar a esta también tiene su aplicación en los resultados derivados del índice BMWP/Col en el proceso del análisis espacio-temporal de calidad del agua en el trayecto objeto de estudiado en el río San Juan.

El muestreo de agosto se destaca por presentar tan solo tres niveles que se asocian con ambientes muy contaminados (25%) incluyendo los 12 casos. Al comparar cada una de las estaciones correspondientes

entre sí, el cálculo y la aplicación del índice biótico ASPT donde se modificó el BMWP/Col para las aguas del río San Juan registró los valores más altos en todos los sitios de muestreo, donde E5 con 6,67, E2 con 6,5 y E1 con 6,19 sobresalen de las demás estaciones por reflejar aguas de buena calidad o de una alta condición ambiental (tabla 5).

Por su parte, en el muestreo realizado en octubre no se muestra esa tendencia espacial registrada en agosto, ni tampoco en el muestreo efectuado en febrero. En la campaña de octubre los valores más altos se presentaron en E1 con 6,33 y E5 con 6,0 en la versión donde no se modificó el BMWP/Col, y en los resultados del índice ASPT modificado y adaptada para el río San Juan sobresalen E1 y E2 con 6,08 y 5,38 respectivamente.

De acuerdo con los resultados arrojados en ambas versiones del índice biótico ASPT aplicado en este estudio, se puede enfatizar que las estaciones de mejor calidad corresponden a E1 y E2.

Valores relativamente altos del índice ASPT en E5 estimados en agosto y en octubre, podría ser un indicativo que aproxime a suponer que ASPT es un índice que no depende del tamaño de la muestra, lo anterior al comparar los resultados obtenidos en este mismo sitio aplicando el índice biótico BMWP/Col. Vergara (2009) considera que los resultados derivados del índice ASPT no dependen de la riqueza de los macroinvertebrados acuáticos determinados en una muestra en particular.

**Tabla 5.** Resultados del índice ASPT, según los resultados obtenidos por el índice BMWP propuesto por Roldán (2003) y modificado para el río San Juan

Fechas de muestreo	Estación	ASPT SIN MODIFICAR				ASPT MODIFICADO					
		Valor BMWP	Total Taxa	Valor ASPT	Clase	Valor BMWP	Total Taxa	Valor ASPT	Clase		
FEBRERO	E1	85	21	4,05	5	R	95	21	4,52	4	N
	E2	84	14	6,00	3	M	71	14	5,07	4	N
	E3	47	12	3,92	5	R	47	12	3,92	5	R
	E4	47	11	4,27	5	R	49	11	4,45	5	R
	E5	10	3	3,33	5	R	11	3	3,67	5	R
	E6	15	2	7,50	1	A	9	2	4,50	4	N
MAYO	E1	50	7	7,14	1	A	53	7	7,57	1	A
	E2	32	4	8,00	1	A	34	4	8,50	1	A
	E3	0	0	0,00	5	R	0	0	0,00	5	R
	E4	17	3	5,67	3	M	17	3	5,67	3	M
	E5	0	0	0,00	5	R	0	0	0,00	5	R
	E6	0	0	0,00	5	R	0	0	0,00	5	R
AGOSTO	E1	90	16	5,63	3	M	99	16	6,19	2	V
	E2	42	8	5,25	4	N	52	8	6,50	2	V
	E3	53	15	3,53	5	R	71	15	4,73	4	N
	E4	66	15	4,40	5	R	67	15	4,47	5	R
	E5	36	6	6,00	3	M	40	6	6,67	2	V
	E6	72	14	5,14	4	N	77	14	5,50	3	M
OCTUBRE	E1	76	12	6,33	2	V	73	12	6,08	3	M
	E2	79	16	4,94	4	N	86	16	5,38	3	M
	E3	75	15	5,00	4	N	72	15	4,80	4	N
	E4	61	15	4,07	5	R	61	15	4,07	5	R
	E5	42	7	6,00	3	M	30	7	4,29	5	R
	E6	34	7	4,86	4	N	29	7	4,14	5	R

Azul (A), verde (V), amarillo (M), anaranjado (N), rojo (R).

### Índice EPT (Efemerópteros, Plecópteros, Tricópteros)

Es de resaltar que la familia Elmidae del orden Coleoptera tan solo se encontró en E1, sitio donde predominan las mejores condiciones ambientales, esta consideración es atribuible a las características eco-fisiológicas de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y a las observaciones percibidas en campo durante los momentos de muestreo, en E1.

Las modificaciones al índice propuesto por Carrera & Fierro (2001) en especial con la exclusión de los efemerópteros de la familia Baetidae, se hace notoria en el muestreo de octubre y parte de agosto y febrero, en el sentido de que en estos meses y en especial en octubre, se calcularon los porcentajes espaciales más bajos, como por ejemplo, 7,7% en E3 y 8,3% en E6. Para recalcar lo anterior, es de considerar que en la versión modificada del índice EPT se excluyeron 107 individuos de la familia Baetidae.

Con base en la información representada en la figura 3 se podría inferir que en ambas aplicaciones del índice biótico EPT, los resultados muestran diferencias apreciables al comparar entre una y otra versión en el trayecto comprendido entre E3 y E6, no así en las es-

taciones E1 y E2. Los bajos porcentajes registrados en E5 podrían estar indicando que este es un índice que depende del tamaño de la muestra, tal y como también se infirió en el caso del análisis del índice BMWP/Col enfocado hacia esta estación.

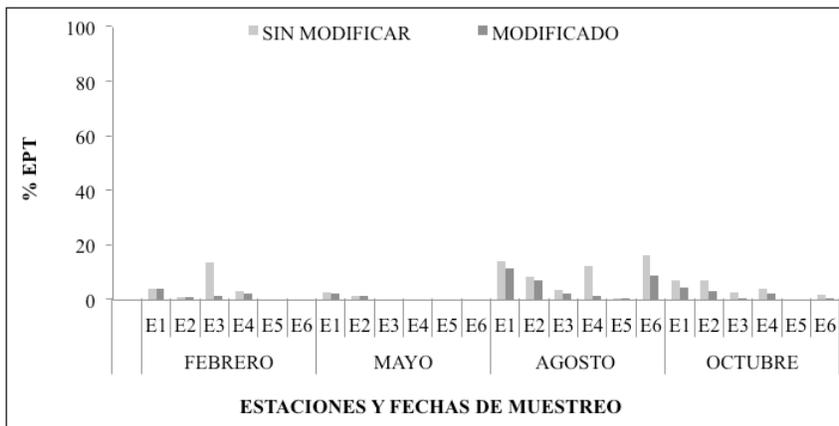


Figura 3. Porcentaje del índice EPT modificado

Las estaciones E3, E4, E5 y E6 muestran un descenso en la calidad de sus aguas, con respecto a E1 y E2, esto debido al paso por el casco urbano del municipio, en cuyo tramo el cauce recibe aportes de agentes contaminantes tales como los vertimientos de aguas residuales de tipo doméstico, escorrentía que lleva consigo altas concentraciones de materia orgánica bovina, extracción de material del río como lo son las arenas (agregados), cuyos movimientos de tierra generan una agitación de los contaminantes ya asentados en el fondo, generando un aumento en variables como la turbiedad y posiblemente la DQO.

### Mapa de calidad

La figura 4 permite una visualización integral de las coberturas y usos del suelo en la cuenca del río San Juan en combinación con el espectro biótico de calidad analizado a partir de los insectos acuáticos; en términos generales la zona se encuentra influenciada por la presencia de bosques, pastos, rastrojos, ganadería, cultivos nativos y de café y en referencia a la calidad se observan resultados diferenciales en cuanto a la ubicación de los sitios.

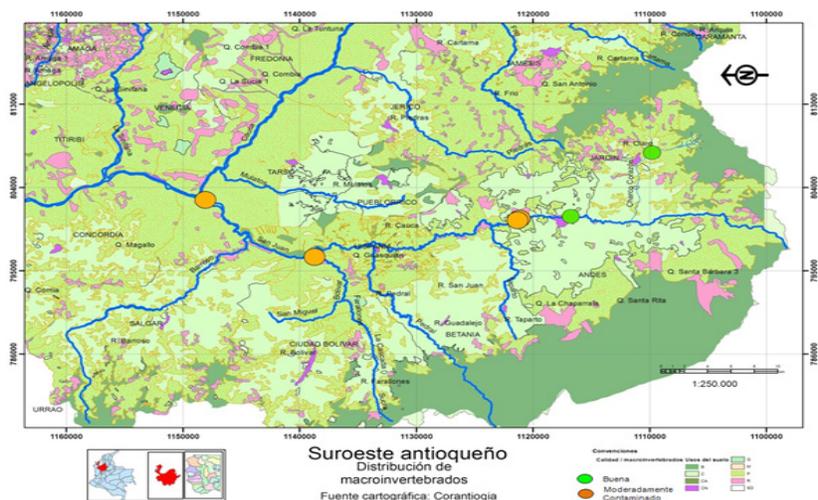


Figura 4. Mapa de calidad y usos del suelo del río San Juan

La calidad generada a partir del análisis de los macroinvertebrados en cada estación, sitúa a las estaciones uno y dos con condiciones de buena calidad y coberturas de las cuencas aferentes asociadas a bosques, pastos, rastrojos y en un menor porcentaje ganadería, notándose la poca influencia de actividades de origen antrópico y por ende las características del cauce se conservan similares en ambos puntos de muestreo.

Las estaciones tres y cuatro cercanas entre sí y visualizadas en el mapa parcialmente como un punto, se ven rodeadas por rastrojos y cultivos naturales. Adicionalmente, en esta zona el río arrastra las descargas de aguas residuales de algunas cabeceras municipales, influenciando la disminución en la calidad del agua a causa de los vertimientos de aguas residuales domésticas y escorrentía proveniente de cuencas intervenidas por el hombre.

Por su parte, los usos del suelo de las estaciones cinco y seis están representados por pastos, bosques y cultivos nativos, dichos usos son prestos para la ganadería, cuya actividad cambia las características del agua, aumentando las concentraciones de cargas contaminantes debido al arrastre por escorrentía de los desechos del sector agropecuario. Estos resultados coinciden con las tendencias fisicoquímicas analizadas, las cuales sugieren que las estaciones E3, E4, E5 y E6 muestran un descenso en la calidad de sus aguas, con respecto a E1 y E2; como se ha mencionado anteriormente esta situación responde al paso por el casco urbano del municipio, es decir recepción de vertimientos residuales, agrícolas y pecuarios.

## CONCLUSIONES

1. Las seis estaciones estudiadas presentaron porcentajes de saturación de oxígeno disuelto por encima del 90%, siendo el muestreo de agosto el más sobresaliente, alcanzando valores superiores al 100%. El pH se mantuvo por debajo de nueve, encontrándose dentro del rango establecido por el RAS 2000. La conductividad eléctrica registró sus mayores niveles en mayo, las fuertes precipitaciones presentadas en la zona generan arrastre de sólidos y de sustancias iónicas disueltas retenidas en las laderas del cauce. La turbiedad, los nitratos, el nitrógeno amoniacal y el fósforo mostraron un comportamiento muy similar, con tendencia a aumentar a medida que se recorren las estaciones.

2. De los tres índices analizados, el ASPT modificado y adaptado al río San Juan es el que mejor se relaciona con las condiciones ambientales del río en el trayecto objeto de estudio, los resultados indican que dicho índice es independiente del tamaño de la muestra, favoreciendo su aplicación en cuerpos de aguas con grandes caudales y altas velocidades en la corriente, tal como lo es el río San Juan.

3. El mapa de calidad construido a partir de los resultados obtenidos con el índice ASPT modificado y adaptado para el río San Juan, ilustra dos escenarios de calidad, donde E1 y E2 presentan buenas condiciones ambientales. En las demás estaciones disminuye considerablemente la calidad del agua, debido a las actividades agropecuarias como cultivos de café y ganadería que se realizan en estos sectores del río y a su cercanía con el casco urbano lo cual incrementa el vertimiento de las aguas residuales.

4. El análisis estadístico indicó que las variables redox, dureza, conductividad y pH fueron afectadas por el factor muestreo, debido a la diferencia existente entre los componentes que prevalecen en el agua en los períodos húmedos (mayor intensidad de lluvias) y los períodos secos. En cambio, las variables DQO, turbidez, nitrógeno amoniacal, alcalinidad, ortofosfatos, temperatura del agua, nitrógeno total, saturación de oxígeno, fósforo total, nitratos y el oxígeno fueron afectadas por el factor estación debido al cambio altitudinal, lo que provoca altas pendientes, ocasionando el arrastre de sólidos y sustancias disueltas, generando un cambio en las características fisicoquímicas en cada estación.

5. Según las caracterizaciones contempladas en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, las aguas del río San Juan no son aptas para consumo humano sin realizar previamente un tratamiento de potabilización cuya eficiencia garantice las características exigidas por el Decreto 475 del 10 de marzo de 1998. Sin embargo, según las variables que fueron analizadas en esa investigación, dichas aguas sí pueden ser usadas para fines recreativos, siempre y cuando no se requiera para esto un contacto directo.

## AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación GeoLimna de la Escuela Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, a los grupos de investigación Salud y Ambiente (GISA) de la Facultad Nacional de Salud Pública y al Laboratorio de Ciencias de la Tierra seccional Suroeste de la Universidad de Antioquia quienes apoyaron decididamente este proyecto como trabajo de grado de la primera autora. Al Comité de Desarrollo de la Investigación CODI convocatoria regionalización 2013, que financió los estudios en el río San Juan. Agradecimientos especiales a Corantioquia por brindar la información cartográfica del municipio de Andes.

## REFERENCIAS

- Aguirre, N., & Caicedo, O. (2013). *Métodos de campo y de laboratorio para hidrobiología sanitaria*. Medellín: Reimpresos Universidad de Antioquia.
- Álvarez Arango, L. F. (2005). *Metodología para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los recursos hidrobiológicos*. Medellín: Instituto Alexander Von Humboldt.
- Álvarez, S., & Pérez L. (2007). Evaluación de la calidad mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. Trabajo de grado.
- Arango, M., Arango, R., Hernández, E., Restrepo, B., Rosero, L., & Pulgarín, M. (2004). *Estudio de la quebrada Espíritu Santo, desde el enfoque del río continuo Envidado - El Retiro, Antioquia, Colombia*. Rionegro: Universidad Católica de Oriente.
- Bustamante, C., Naranjo, J., & Ahumada, J. (2014). Determinación de la calidad ecológica del río Tuluá Valle del Cauca, *Mutis*, 4(2), 35-43.
- C. de Esparza, M. (1987). *Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua*. Lima: CEPIS.
- Caicedo, O., Palacio, J. & Aguirre N. (2004). Macroinvertebrados acuáticos. En Aguirre, N., Palacio, J. & Wills, A. (eds.). *Caracterización de los principales aspectos fisicobióticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia*. 1ª ed. Medellín: Universidad de Antioquia; 2004. Pp. 84-98.
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito: EcoCiencia.
- Chesters, R. (1980). *Biological Monitoring Working Party. The 1978 National testing exercise*. Technical memorandum. Dept of the Environmental, Water data unit.
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Tucumán, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales. Instituto M. Lillo.
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Fernández, H., Romero, F., Vece, M., Manzo, V., Nieto, C., & Orce, M. (2002). Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña (Tucumán - Argentina). *Limnetica* 21(1-2), 1-13.
- Gaviria, E. (1993). Claves para las especies colombianas de las familias Naididae y Tubificidae (Oligochaeta, Annelida). *Caldasia*, 17(2), 237-248.
- Gobernación de Antioquia. (2009). *Perfil de la subregión del suroeste*. Departamento Administrativo de Planeación.
- González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NFS, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(1), 97-108.
- González, V. (2008). Evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Ayurá mediante la aplicación de índices de calidad –ICA e índices bióticos. Trabajo de grado para optar al título de ingeniera sanitaria. Universidad de Antioquia.
- Guerrero, F., Manjarrés, A., & Núñez, N. (2003). *Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación*

- con la calidad del agua*. Santa Marta, Magdalena, Colombia: Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Magdalena.
- Guevara, G. (2004). *Análisis faunístico del orden Trichoptera en su estado larval en la cuenca del río Coello, departamento del Tolima*. Trabajo de grado (Maestría). Ibagué: Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología.
- Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza. Revista de didáctica*, 11, 1-18
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcelona: Omega, S. A., Universidad de Barcelona, España.
- McCafferty, W. P. (1981). *Aquatic Entomology*. Boston, Massachusetts: Science Books International.
- Milán, W., Aguirre, N., & Caicedo, O. (2011). Quebrada La Popala: un análisis de calidad del agua desde algunas variables fisicoquímicas, microbiológicas y los macroinvertebrados acuáticos. *Revista Gestión y Ambiente*, 14(1), 85-94.
- Municipio de Andes. (2000). *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Urbano de Andes*.
- ONU-DAES. (2015). Decenio internacional para la acción "El agua fuente de vida".
- Olmos, C., Molina, R., Vélez, F., & Aguirre, N. (2015). Efecto de la descarga de materia orgánica proveniente de subproductos de la agroindustria del café sobre el oxígeno disuelto del río Tapartó en el suroeste antioqueño. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero ambiental. Medellín: Universidad de Antioquia. Grupo Geolimna.
- Posada, J., & Roldán, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el noroccidente de Colombia. *Caldasia*, 21(1), 169-192.
- Porinchu, D., & MacDonald, G. (2003). The use and application of freshwater midges (Chironomidae: Insecta: Diptera) in geographical research. *Progress in Physical Geography*, 27(3), 378-422.
- Puig, M. (1981). Distribución y ecología de las especies de *Elmidae* (Col.; Dryopoidea). Barcelona: Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona.
- Raimundi, E. (2010). Ecología de *Leptophlebiidae* bank, 1900 (Insecta: Ephemeroptera). Santa Catarina: No oeste de Santa Catarina, Universidades comunitária da região de chapecó. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.
- RAS. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título A.
- Ramírez, D., Talero G., & López, R. (2011). Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en un tramo del río Bogotá. Cajicá-Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 205-214.
- Resumen Ejecutivo del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Urbano de Andes. (2000). Medellín: Sanear LTDA.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Fondo FEN Colombia. Colciencias. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, Uso del método BMWP/Col*. Ciencia y tecnología. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ruiz, I. (2012). *Biología y ecología de los simúlidos*. Zaragoza: Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza.
- Scheibler, E., Pozo V., & Paggi A. (2008). Distribución espaciotemporal de larvas de Chironomidae (Diptera) en un arroyo andino (Uspallata, Mendoza, Argentina). *Revista Soc. Entomol. Argentina*, 67(3-4), 45-58.
- Springer, M. (2010). Trichoptera. *Rev.Biol.Trop.*, 58(4), 151-158.
- Standard Methods. (2005). American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Subodh, S., Bajracharya, R., & Sitaula B. J. (2005). 49. MERZ. 2005. Water quality in the Central Himalaya. *Current Science*, 89(5), 774-786

Valverde, N., Aguirre, N., & Caicedo, O. (2009.) Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. *Revista Limpia*, 4(1), 44-60

Vergara, D. (2009). Entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. Tesis de maestría, Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Zapata, P. (2014). *Ecología general*. Córdoba, Argentina: Universidad Blas Pascal.

Zúñiga, M. C., Molineri, C., & Domínguez, E. (2004). Orden Ephemeroptera (Insecta) de Colombia. En: *Insectos de Colombia*. Fernández, F., Andrade, M. G., & Amat, G. (eds.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 17-42.

# Estudio de prefactibilidad para el diseño de una planta de etanol a partir de residuos de cosecha de caña de azúcar

Yenny del Carmen Velásquez Riascos,<sup>1</sup> Jorge Enrique López<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

<sup>2</sup>Universidad del Valle, Universidad Autónoma de Occidente, Colombia.

\*Autor para correspondencia: [jorge.lopez@correounivalle.edu.co](mailto:jorge.lopez@correounivalle.edu.co)

## RESUMEN

En el Valle del Cauca se generan alrededor de 5 millones de toneladas anuales de desechos lignocelulósicos de la caña de azúcar, constituidos principalmente por hojas y cogollos. Esta biomasa dependiendo de su variedad, posee un estimado promedio en peso de 42% de celulosa, 26% de hemicelulosa y 22% de lignina en base seca, siendo apta para obtener azúcares fermentables para conseguir etanol deshidratado como combustible. Basados en las anteriores consideraciones, el grupo de investigación en biocombustibles y biorefinerías de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle junto con el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Occidente, viene ajustando el diseño de una planta de obtención de etanol a partir de las hojas y cogollos que son dejados en el suelo tras realizar la cosecha de la caña de azúcar, por esta razón el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la prefactibilidad de montar la planta para la producción de etanol como producto principal y de otras sustancias que puedan ser aprovechables (lignina y proteína) a partir de estos residuos lignocelulósicos. Para este estudio se hizo uso de los estudios experimentales previos ejecutados por los investigadores del grupo en biocombustibles y realizando el proceso a partir de 1000 toneladas de hojas y cogollos usando los datos de pruebas realizadas en el laboratorio y mediante cálculos de balances, que fueron incluidos en un simulador comercial Aspen Plus versión 10.8.1. Se logró obtener 121.000 litros/día de etanol anhidro con un rendimiento del 78,57% y 202 ton/día en base seca de lignina con 94,5% y 6,4 ton/día de proteína con 40% de recuperación como subproductos principales. El análisis económico muestra que la capacidad mínima de la planta de producción es de 285.000 litros/día, presentada a una tasa interna de retorno de 34% y VPN de US\$ 36.839.602.

**Palabras clave:** hojas y cogollos de caña, prefactibilidad económica, etanol anhidro, TIR, VPN.

**Editor:** Hernández Fernández, J.  
[javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

**Citation:** Velásquez-Riascos, Y., & López, J.E. (2016). Estudio de prefactibilidad para el diseño de una planta de etanol a partir de residuos de cosecha de caña de azúcar. *Mutis* 6(2), 74-81, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1152>

**Received:** Abril 29, 2016. **Accepted:** Junio 30, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

**Copyright:** ©2016 Velásquez-Riascos, Y. & López, J.E. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Competing Interests:** The authors have no conflict of interest.

## Pre-feasibility study for design of a ethanol plant from waste of sugar sugarcane

### ABSTRACT

In Valle of Cauca are grown around 100,153 hectares of cane and 22 million tons/year can generate about 5 million tons of lignocellulosic wastes, consisting mainly of leaves and buds. This biomass that depending of variety, has an estimated average 42% by weight of cellulose, 26% hemicellulose and 22% lignin on dry basis, being apt to obtain fermentable sugars to get dehydrated ethanol as fuel.



Based on the above considerations, the biofuels research group and biorefineries School of Chemical Engineering at the Universidad del Valle with the laboratory of Biotechnology of the University of the West; they are come adjusting the layout of a plant for production of ethanol from the leaves and buds that are left in the harvesting the sugar cane, which is why this study aimed to study the prefeasibility of assembling the plant for the production of ethanol as main product and the other substances like lignin and protein from these lignocellulosic residues. For this study, use was made of the previous results achieved by researchers of group biofuels where it start of 1000 tons of leaves and buds using the commercial simulator Aspen Plus version 10.8.1

It was possible to obtain 121,000 liters / day of anhydrous ethanol in a yield of 78.57% and 202 tons / day on dry basis 94.5% of lignin and 6.4 ton / day with 40% protein recovery as major byproducts. This document includes information from studies conducted by researches of biofuels group and performing process in which from 1000 tons of leaves and buds are obtained 121,000 liters / day of anhydrous ethanol with a yield of 78.57% and major subproducts like 202 ton / day of lignin with 94.5% and 6.4 ton / day with 40% protein recovery. The economic analysis gave as most appropriate alternative sizing estimate a production of 285,000 liters / day minimum capacity, brought to an internal rate of return of 34% and NPV of USD\$ 36389602.

**Keywords:** cane leaves and buds, economic feasibility, anhydrous ethanol, IRR, NPV.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente los residuos lignocelulósicos representan 5 millones de toneladas por año, equivalentes a 23,1 ton/ha, y constituyen el 25% del peso de la caña, incluyendo hojas verdes (13,3%), hojas secas (64,2%), cogollos (7,5%) y caña remanente (15%). Estos residuos considerados como biomasa, se dejan sobre el suelo como material de abono y en su mayoría se queman incrementando la contaminación ambiental (Rodríguez, 2009).

Esta biomasa, que dependiendo de la variedad, posee un estimado promedio en peso de 42% de celulosa, 26% de hemicelulosa y 22% de lignina en base

seca (Gómez, 2007) apta para obtener azúcares fermentables, genera una alternativa para obtener etanol deshidratado (anhidro) como combustible a partir de estos residuos. Así, al usar alcohol carburante, se puede disminuir el consumo de combustibles fósiles e impactos ambientales reduciendo en un 74% la emisión de gases de efecto invernadero. Además, Colombia viene trabajando con proyectos en la inserción de alcohol en la gasolina para uso en los motores de combustión (Prasad, 2007), esta inclusión se rige por la regulación del Ministerio de Minas y Energía para la distribución de mezcla (E8) en el territorio nacional que ayuda a mantener una producción anual de 387,85 millones de litros de etanol anhidro y una demanda de 5,93 millones de litros (Informe anual de Asocaña 2012-2013, 2013).

Colombia ha generado en los últimos 4 años más de US\$500 millones provenientes de la producción de etanol en varias regiones y 120.000 empleos rurales (Avella Guzmán, 2008). El país puede tomar ventaja en este tema ya que se han iniciado estudios para su concepción a partir de materias primas como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, la yuca y el bagazo de caña (Federación Nacional de Biocombustibles, 2013). Actualmente en Bolívar y Córdoba (en la costa norte colombiana), se lidera un proyecto de construcción de plantas de abastecimiento para el mercado internacional que producirían 300.000 litros diarios de etanol a partir del cultivo de 17.000 hectáreas de caña de azúcar (Informe anual de Asocaña 2012-2013, 2013),

Para producir etanol carburante, se requiere de tecnología que involucre análisis de criterios económicos y ambientales, entre los que se encuentran consumo energético, eficiencia, depreciación, automatización, costos de operación y de capital, control ambiental y alternativas de cogeneración de vapor y electricidad (Chávez, 2013).

Basados en las anteriores consideraciones, el Grupo de Investigación en Biocombustibles y Biorefinerías (Grubioc) de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle, junto con el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Occidente, viene ajustando el diseño de una planta de obtención de etanol a partir de las hojas y cogollos que son dejados en el suelo tras realizar la cosecha de la caña de azúcar, por esta razón el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la prefactibilidad

de montar la planta para la producción de etanol como producto principal y de otras sustancias que puedan ser aprovechables (lignina y proteína) a partir de estos residuos lignocelulósicos, considerando primero evaluar las necesidades y costos operativos del diseño del proceso propuesto y aprobado por el grupo Grubioc, segundo, definir los costos de capital y de operación de la planta y los índices económicos en el caso que se requieran y por último, evaluar las proyecciones de los costos al aumentar la capacidad de la planta.

## METODOLOGÍA

Para estimar el punto de equilibrio económico preliminar de una planta para la obtención de etanol como producto principal a partir de los residuos lignocelulósicos de la cosecha (hojas y cogollos) de la caña de azúcar, se trabajó la metodología tipo investigación basada en el diseño conceptual definido por el grupo de investigación Grubioc, en la exploración efectuada a nivel de laboratorio. Se tomaron como productos secundarios la lignina y la proteína.

Para su desarrollo se utilizaron como fuentes primarias todas aquellas obtenidas de información recibida en reuniones de seminario del grupo de investigación y las entrevistas realizadas a las personas quienes participaron en los diferentes experimentos para obtener los rendimientos de cada etapa. Así mismo, la de expertos que laboran en empresas con objetivos encaminados a la producción de alcohol carburante. Para las fuentes secundarias se hizo una recopilación bibliográfica relacionada con el tema en bases de datos disponibles en la Universidad del Valle, tales como Science Direct, EBSCO y Web of Science (LSI PRODUCTS), también se consultaron proyectos de grado y artículos disponibles en internet relacionados con estudios de prefactibilidad. Se procedió a realizar el siguiente procedimiento:

### Evaluación de necesidades y costos operativos

Las necesidades requeridas para el diseño del proceso propuesto y aprobado por el grupo de investigación Grubioc, se dirigió primero a la ubicación de la planta en el Valle del Cauca por presentarse allí un mayor porcentaje de área cultivada y suministro de equipos e insumos debido a las 5 destilerías presentes en la región específicamente en la ciudad de Santiago de Cali,

por las ventajas que presenta en cuanto a la adquisición y transporte de la materia prima, transporte de maquinaria y equipo y finalmente aprovechamiento de los subproductos. Se hizo relevante la adecuación en la ciudad de Yumbo por su facilidad para transporte de productos, zona franca y transporte aéreo. Estas condiciones se especifican en el documento principal o tesis.

Para este estudio se hizo uso del simulador comercial Aspen Plus versión 10.8.1. Las condiciones de los equipos se dimensionaron conforme el balance de materia realizada a cada etapa de operación usando reglas heurísticas (Seider, 2009), y los datos suministrados por los estudiantes del grupo de investigación Grubioc realizados en pruebas piloto de los laboratorios de operaciones unitarias y química de la Universidad del Valle y el Laboratorio de Bioprocesos de la Universidad Autónoma de Occidente.

Para el predimensionamiento de equipos este se efectuó acorde a Seader *et al.* (2004) y los resultados del simulador; se tomaron como base inicial de cálculo 100.000 litros/día de producción de etanol y se escaló para 5 escenarios o niveles de producción más. Se definieron las etapas de operación conforme a la información brindada por el grupo Grubioc e información bibliográfica descrita en el marco teórico del documento principal.

Los componentes simulados fueron: agua, etanol, hidróxidos, lignina y dióxido de carbono, hemicelulosa y celulosa se incluyeron como glucosa; cenizas, extraíbles lipofílicos, se balancearon como sólido inerte usando como componente principal el carbono, los hidrosolubles se incluyeron como agua. Para los parámetros se usó la base de datos de Aspen, que contiene literatura bibliográfica acorde con Seader *et al.* (2004), Walas (1988), Geankoplis, (1998), Pruksthornt *et al.* (2009), Balat (2010) y Woods (2007), entre otros. Se trabajó con el modelo termodinámico Non Random Two liquids (NRTL) debido a que la base de datos del simulador está diseñada para emplearla (Wooley *et al.*, 1999). El nivel de detalle de este trabajo no requiere modelos cinéticos complejos que representen el comportamiento de hidrólisis enzimática y fermentación. En vez de eso, solo es necesario conocer los rendimientos o conversiones obtenidos por los integrantes del grupo en sus investigaciones.

La simulación se realizó en orden consecutivo cumpliendo con las condiciones y especificaciones requeridas, el esquema de producción incluye extracción de proteína, deslignificación, hidrólisis enzimática, fermentación, destilación y deshidratación. El área de tratamiento de residuos no se incluyó en el simulador, en su lugar se realizaron cotizaciones con plantas de tratamiento de dimensiones equivalentes a la producción que emite el balance de materia para los residuos líquidos y sólidos como biomasa (ver figura 1). Este valor se incluye en los costos totales. Posteriormente, se revisó que las unidades incluidas no registraran problemas de convergencia, para incluir la unidad y corrientes siguientes.

El análisis de sensibilidad se realizó en las columnas de destilación y en los evaporadores de múltiple efecto usando el simulador (relación de reflujo, etapa de alimentación, rendimiento, consumo energético) sobre la pureza del etanol obtenido.

En las torres de destilación se realizó un análisis de sensibilidad para identificar el efecto de las variables de operación como presión, temperatura, perfil de los componentes (agua - etanol - dióxido de carbono), sobre el rendimiento de producción de etanol y emisiones de dióxido de carbono. Así mismo, Aspen Plus calculó la energía requerida para la operación de acuerdo a diferentes configuraciones de la(s) etapa(s) de alimentación y el número de etapas.

Para los evaporadores de múltiple efecto el análisis de sensibilidad se limitó al estudio del número de efectos vs. la cantidad de vapor necesaria para llevar los sólidos a una concentración del 80%. Acorde con ello se

seleccionaron las mejores condiciones de operación para estas partes del proceso.

### Costos de capital, de operación e índices económicos

Se inició la evaluación económica tomando la base inicial de cálculo de 100.000 litros/día (3961,29 kg/h) de producción de etanol como producto principal. Se usó el dólar como moneda y una tasa de cambio equivalente a 3000 pesos/dólar.

En la evaluación se determinó el costo de capital, los costos de operación, capital de trabajo, inversión total de capital y cálculo de los indicadores económicos TIR y VPN, utilizando las etapas del proceso descritas en el punto anterior y usando como herramientas el simulador Aspen Icarus y Microsoft Office Profesional Plus 2010. Para los costos de instalación se realizó el ajuste a las condiciones actuales, usando el Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI), en 2013 el CEPCI de 467,2 consultado en julio de 2013.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Estimación de las necesidades y costos operativos

Se realizó la selección del proceso conforme a la información brindada por el grupo Grubioc, especificada en la metodología y marco teórico de este documento. A partir de 1000 toneladas de hojas y cogollos se obtuvieron 121.000 litros/día de etanol anhidro, un rendimiento de 78,57% y como subproductos principales 202 ton/día en base seca de lignina con 94,5% y 6,4 ton/día de proteína con 40% de recuperación. Ver tabla 1.

**Tabla 1.** Rendimiento de cultivo y de etanol a partir de las hojas y cogollos

Materia prima	Rendimiento cultivo (ton/ha)	Rendimiento A etanol (litros/ton)	Costo de materia prima (US\$/ton)		Costo a etanol (US\$MP/lt)	
			Producida*	Comprada	Producida	Comprada
Hojas y cogollos	123	120,8	14	18,7	0,12	0,15

\*Servicio de análisis estadístico, Informe Asocafña 2011-2012.

El rendimiento de hojas y cogollos es alto en comparación con otros rendimientos de maíz (460,6 lt/ton), bagazo (193 lt/ton) y caña (75 lt/ton) incrementando

la posibilidad de montar la planta de obtención de etanol (KAZI, y otros, 2010). Los flujos principales se describen en la figura 1.

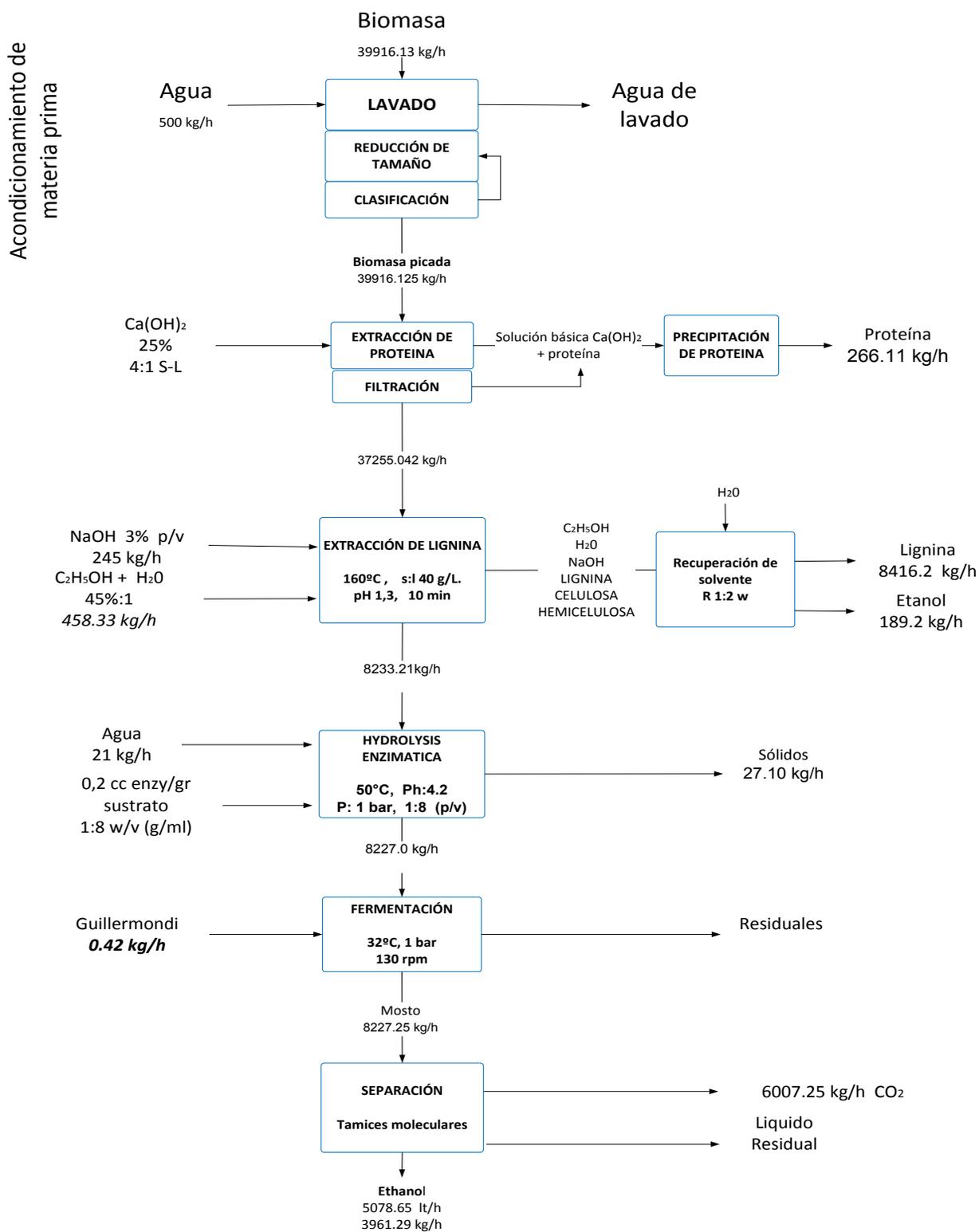


Figura 1. Diagrama de proceso de etanol a partir de residuos de cosecha

## Resultados de la evaluación económica

La evaluación económica se realizó para seis niveles de producción (ver tabla 3). Los datos registrados son para 300.000 litros/día equivalentes a 81'264.000 litros anuales, se resumen los costos de la planta. Conforme al VPN de la tabla 3, se evidencia que para que exista una buena rentabilidad deben superarse los 200.000 litros de producción, por tal motivo conforme las necesidades actuales reportadas por la página de biocombustibles de 2013, los indicadores de VPN y la TIR, se evalúan las alternativas para niveles de producción mayores; se evidencia que la mejor posibilidad de inversión la da el proceso de 300.000 litros/día. De acuerdo con la evaluación se define que el mejor resultado de VPN lo registra la producción de 200.000 litros/día (ver tabla 3).

Tabla 2. Resumen de costos de la planta

Resumen de costos	Descripción	(US\$)	US\$/lt
Costos de capital	Costo/ período	29'132.195	0,360
Total costos operación	Costo/ período	40'310.800	0,500
Ventas totales de producción	Costo/ período	65'322.900	0,804

### Costos de capital

Los equipos presentan mayor rubro en el capital; en el que la etapa de separación (dimensión de las torres de destilación) y fermentación, incurre en mayor costo debido a las dimensiones de los equipos requeridos para el nivel de producción (200.000 litros/día) y al tiempo de residencia necesario para la fermentación alcohólica.

### Costos de operación

La materia prima presenta mayor impacto en los costos, debido al volumen requerido para su procesamiento (casi 2200 toneladas). Con los servicios industriales, se genera mayor impacto en el vapor y agua de enfriamiento, necesarios para la etapa de deslignificación que requiere energía para operar a un calentamiento de 160 °C. En el proceso de destilación, donde se usó el tren de separación para obtener etanol al 95,6%, también se requiere de vapor para realizar el

cambio de fase. Estos costos pueden disminuirse con alternativas como integrar un ingenio que tenga estos servicios ya en funcionamiento.

### Costos de producción

El resultado de producir etanol a partir de los residuos de cosecha generó un valor equivalente a 0,97 US\$/lt. Es de aclarar que en Colombia el costo del etanol cambia constantemente, por lo cual este estudio se vería afectado por la estructura de precios que expide por decreto el Ministerio de Minas y Energía. El año 2013 cerró a 1,19US\$/lt y el 2014 (según Resolución 90815 del 31 de julio) a 0,87 US\$/lt, por debajo de lo que cuesta producirlo limitando la atracción de poder montar la planta y en mezcla E8 a 1,22US\$ (Federación Nacional de Biocombustibles, 2013). (Consulta realizada en su página web a julio de 2014).

### Indicadores económicos

En la tabla 3 se registran los resultados de los indicadores económicos para 6 niveles de producción como proyectos separados, es decir, cada nivel requiere de un redimensionamiento de equipos para cada nivel de producción.

Tabla 3. Indicadores para cada escenario

Producción de etanol litros/día	VPN en US\$	TIR	Puntos porcentuales
100.000	- 25'236.632	21,7%	-4%
200.000	34'832.679	33%	9,2%
300.000	43'462.526	33%	8%
400.000	33'651.323	31%	5%
500.000	36'800.001	30%	5%
1.000.000	495'825.332	40%	15%

Con la tasa efectiva de 25% aplicada para cada proyecto, se obtienen datos de TIR mayor a partir de un nivel de producción de 200.000 litros, significando esto que se puede considerar rentable debido a que el VPN es positivo a partir de estos casos. La proyección se puede recuperar en el octavo año solo para etanol como producto y en el quinto año si se consideran subproductos como lignina, proteína y dióxido de carbono.

Del análisis de resultados se encontró que la utilidad del proyecto a partir de etanol sin incluir el impuesto de renta, es equivalente al 35,04% (US\$27'980.632), y al incluir los subproductos como lignina, dióxido de carbono y proteína, se llega al 41,46% (US\$33'825.000). Con lo anterior se complementa la información sobre la rentabilidad de la empresa determinándose que, para producción en escala a mayores unidades vendidas, mayor rentabilidad.

### Estimación del punto de equilibrio

Se concluye que el punto de equilibrio, donde son exactamente iguales los beneficios por ventas a la suma de costos fijos y variables por medio del cálculo con las ecuaciones brindadas por la bibliografía de matemática financiera y la fórmula 1; se encuentra que el precio de venta unitario de etanol se encuentra en 326,6 US\$/lt y con un costo variable unitario de 319,36 US\$/lt, con costos fijos de US\$1'892.000 aplicando la fórmula 1, las unidades físicas requeridas para no incurrir en pérdidas son de 245.793 litros, equivalentes a:

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{P*Q}} \quad (1)$$

Donde:

CF: costos fijos totales

Cv: costos variables totales

P\*Q: volumen total de ventas: CF + Cv

$$P.E. = \frac{1'892.000 \text{ USD}}{326.6 - 319.36} = 80.500.000 \text{ USD} \quad (2)$$

Se estableció el valor mínimo de unidades en 246.000 litros para comercializar, siendo consecuente con las relaciones establecidas en el ítem anterior, en donde mayores a 250.000 litros hay rentabilidad.

Finalmente, la producción escogida cumple con las condiciones de costos y producción de etanol para las opciones de nuevos proyectos que la empresa Bioenergy tiene pensado en Norte de Santander para una producción de 350.000 litros o también para el Valle del Cauca, en el cual el Ingenio Riopaila Castilla proyecta invertir US\$70'000.000 millones para una ca-

pacidad de 400.000 litros a partir de la caña (informe Asocaña, 2013). Si se observan los rendimientos a partir de la caña y se comparan con las hojas y cogollos, se puede identificar que este proyecto obtendrá el volumen esperado y podrá iniciarse con la inversión que el Ingenio estima. También, se pueden mejorar los costos usando algunos servicios industriales del Ingenio en el cual se espera sea montada la planta de producción.

### CONCLUSIONES

Como resultado del análisis económico se determinó como alternativa una planta de producción de 285.000 litros/día teniendo en cuenta las necesidades y costos de operación para cada nivel de producción, ya que se pueden disminuir estos costos hasta en un 45,6% si este proceso se puede acoplar a una planta de producción en operación que cuente con equipos para la etapa de separación y tratamiento de efluentes.

Los costos podrían disminuir si se aplican las exenciones que prevé el estatuto tributario durante los primeros tres años.

Desde el punto de vista ambiental, usar los residuos y las hojas para este proceso disminuye hasta en un 74% el nivel de emisiones de dióxido de carbono, todo esto se afirma teniendo en cuenta las tendencias mundiales, y la producción de biocombustibles a partir de residuos lignocelulósicos, que es materia de estudio día a día, lo que ocasiona que este proyecto se convierta en algo de mucho interés para ajustar las operaciones y condiciones del proceso dentro del grupo Grubioc, con el fin de buscar y precisar los factores económicos en el objetivo del montaje de una planta a futuro que beneficie a la región en cuanto a la disminución de la tasa de desempleo (el Dane tenía una estimación del 7,9% a octubre de 2014), debido a que la cantidad de operarios requeridos es de 130 empleos directos para las siete etapas de operación.

Es necesario continuar con futuras investigaciones, ya que es importante seguir haciendo uso estratégico de simuladores comerciales para evaluar una gran posibilidad de escenarios con los cuales es posible tomar una decisión más acertada y en menor tiempo. Igualmente, es necesario seguir considerando con detalle criterios basados en poder calorífico, humedad, emi-

sión de contaminantes, aspectos cualitativos asociados a su proceso productivo, impacto de producción y consumo.

Se recomienda continuar con el proyecto a partir de ajustes realizados en los experimentos del grupo de investigación y con ello avanzar a la etapa de factibilidad, donde se presenten los modelamientos y sea evidenciable deducir a través del punto de equilibrio de la planta que se monte con una producción de 250.000 a 300.000 litros/día. Así mismo, los costos disminuyen hasta en un 8% en transporte de materia prima y servicios industriales si se utiliza esta planta como anexa a otra que ya esté operando.

## REFERENCIAS

- Asocaña. (2013). Informe anual 2012-2013. Asocaña. 76 pp.
- Avella Guzmán, O. R. (2008). *Etanol lignocelulósico a partir de residuos agrícolas*. Bogotá: Universidad Distrital.
- Bacca Urbina, G. (2006). *Evaluación de proyectos*. 5ª Edición. México D. F.: McGraw-Hill. 339 pp.
- Balat, M., Balat, H., & Cahide, O. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 24, 551-573.
- Cadavid López, K. T., & Medina Herrera, R. (2012). Selección y ajuste de un modelo cinético de la fermentación alcohólica de hidrolizados de residuos deslignificados de caña de azúcar utilizando un microorganismo nativo. Tesis. Cali: Universidad del Valle.
- Chain, N. S., & Chain, R. (1996). *Preparación y evaluación de proyectos*. 3ª Edición. México D. F.: McGraw-Hill.
- Chávez, C. P. (2013). *Deslignificación por explosión con vapor de los residuos de cosecha de la caña de azúcar en el proceso de obtención de etano*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- De la Cruz Delgado, M., López Velasco, J. L., Flórez Pardo, L. M., & López Galán, J. E. (2013). Memorias Del II Congreso Iberoamericano sobre Biorefinerías. *CYTED*, 1(1), 611-617.
- Empresa Alibaba. (2013). Línea laboratorios NREL, Genencor. Disponible en: <http://www.alibaba.com>
- Empresa Bombas Hydral. (2013). Disponible en: <http://www.bombashydral.com>.
- Federación Nacional de Biocombustibles. (2013). Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com>
- Gómez D., R. B. (2007). Determinación de la viabilidad comercial de exportación de alcohol carburante de Colombia hacia Estados Unidos. Bogotá: Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Administración Ambiental.
- Kazi, F., Fortman, J. A., Anex, R. P., Hsu, D., Aden, A., Dutta, A., & Kothandaraman, G. (2010). Techno-economic comparison of process technologies for biochemical ethanol production from corn stover. *Journal Fuel*, 89, 20-28.
- Prasad, S. S., Singh, A. & Joshi, H.C. (2007). Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(1), 1-39, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.007>
- Rodríguez, C. H. (2009). *Caracterización de los polisacáridos presentes en los residuos de cosecha (hoja y cogollos) de tres variedades (CC8475, CC8592, V715) de caña de azúcar*. Cali: Universidad del Valle.
- Seider, W. D., Seader, J.D. & Lewin, D.R. (2009). *Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation*. Ed. J. Wiley. Third Edition.

# Variabilidad mensual de la velocidad de surgencia y clorofila $a$ en la región del Panama Bight

Nancy Villegas,<sup>1</sup> Igor Málikov,<sup>2</sup> Diana Díaz<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias. Grupo de Investigación en Oceanología CENIT. Av. Carrera 30 N° 45-03 Bogotá D. C., Colombia.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Oceanología CENIT. Av. Carrera 30 N° 45-03 Bogotá D. C., Colombia.

<sup>3</sup>Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Básicas y Modelado. Grupo de Investigación Modelado y Simulación de Sistemas. Carrera 4 N° 22-61 Bogotá D. C., Colombia. \* Autor para correspondencia: [dianac.diaz@utadeo.edu.co](mailto:dianac.diaz@utadeo.edu.co)

## RESUMEN

Las zonas de surgencia y la presencia de clorofila  $a$  en la región del Panamá Bight (golfo de Panamá) fueron comparadas en una escala mensual. Las variables utilizadas fueron la velocidad vertical de surgencia estimada mediante el software EVA. V.2.0 y la concentración de clorofila  $a$  obtenida de imágenes satelitales SeaWiifs. El estudio fue realizado para el área costera entre 6° 30' y 2° N y en los tres principales focos de ascenso de agua, el primero ubicado entre 83-84° W y 1° 30'-2° 30' N, el segundo entre 81-82° W y 1° 30'-2° 30' N, y el tercero entre 82-83° W y 2° 30'-3° 30' N. Los resultados muestran la asociación directa entre la concentración de clorofila  $a$  y la surgencia durante todo el año. El estudio también resalta que el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical ZCIT determina la variabilidad estacional del proceso de ascenso, atenuándolo cuando pasa sobre el área de estudio y reforzándolo mientras se aleja. El análisis de correlación entre las variables bajo estudio dio como resultado coeficientes estadísticamente significativos entre 0.5 y 0.9 en los tres focos principales y valores no significativos en la zona costera.

**Palabras clave:** afloramiento, Pacífico colombiano, ZCIT, imágenes satelitales.

**Editor:** Hernández Fernández, J.  
[javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

**Citation:** Villegas, N., Málikov, I., & Díaz, D. (2016). Variabilidad mensual de la velocidad de surgencia y clorofila  $a$  en la región del Panama Bight. *Mutis* 6(2), 82-94, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1153>

**Received:** Junio 05, 2016. **Accepted:** Junio 30, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

**Copyright:** ©2016 Villegas, N., Málikov, I., Díaz, D. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Competing Interests:** The authors have no conflict of interest.

## Monthly rate variation upwelling and chlorophyll $a$ in the region of Panama Bight

### ABSTRACT

The influence of the migration of the ITCZ on the climatic variability of the upwelling vertical velocity ( $V_z$ ) and the spatial-temporal behavior of upwelling spots over the CPO was determined. This influence was corroborated by the presence of chlorophyll  $a$  in the upwelling zones.  $V_z$  values were calculated with EVA . V.2.0 software. The chlorophyll  $a$  content was extracted from satellite



images for 1997-2000. A comparison between the upwelling zones distribution, the migration of ITCZ and chlorophyll *a* was made. This comparison was based on the correlation between variables of three upwelling focuses and a coastal upwelling. The first focus was located between 83-84° W and 1° 30'-2° 30' N, the second one between 81-82° W and 1° 30'-2° 30' N, the third between 82-83° W and 2° 30'-3° 30' N. Upwelling coastal zone was located on 6° 30' and 2° N. This work showed that while the ITCZ is far from the CPO, the upwelling is favored. It was determined that, when the ITCZ is on the region, the upwelling is attenuated due to weak winds. It was corroborated that chlorophyll *a* concentration is high in every month throughout coastal upwelling and around three upwelling focuses.

**Keywords:** upwelling, Colombian Pacific Ocean, ITCZ, satellite images.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de los movimientos verticales del agua en la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC) se inició a finales de la década de los 90 teniendo en cuenta valores obtenidos en cruceros oceanográficos. Villegas (1997a, 2001), por ejemplo determinó la existencia de zonas de ascenso de aguas con el cálculo de las corrientes verticales de surgencia ( $V_z$ ) y se comparó los resultados con la presencia de valores bajos de temperatura superficial del mar (TSM). Por su parte, autores como Devis *et al.* (2002, 2008) y Rodríguez-Rubio *et al.* (2002, 2003), han estudiado la relación entre el campo de vientos y la dinámica de la CPC, así como la variabilidad de pigmentos fotosintéticos utilizando información satelital. En la CPC también se ha estudiado la dinámica de las zonas de surgencia en algunos años que representan diferentes fases de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (Villegas, 1997b) y se ha evaluado la influencia de la migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en sus variaciones espacio-temporales (Díaz *et al.*, 2008, 2009). Hasta el momento los trabajos mencionados no han evaluado la relación entre la concentración de clorofila *a* y la velocidad vertical en los focos de surgencia identificados.

La comparación de la velocidad de surgencia y la concentración de clorofila *a* es importante porque ayuda a identificar y describir la dinámica de zonas

que tengan mayor abundancia de especies objetivo de pesca, al localizarse estas justamente en regiones con mayor concentración de clorofila *a* y ascenso de agua ya que les brindan las mejores opciones de alimentación; así mismo, el comprender la dinámica de los ecosistemas marinos de la región que ayuda a favorecer su preservación y proteger las especies y hábitats sensibles.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio (figura 1) es el área comprendida entre 1° 30'-7° 10' N y 77° 40'-82° 00' W, ubicada dentro de la denominada región del Panama Bight (golfo de Panamá) o también conocida a nivel local como Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC).

Los cálculos de los valores de las corrientes verticales de surgencia ( $V_z$ ) se basaron en la integración de la ecuación de continuidad a través del software EVA.2 elaborado para la CPC (Villegas y Málíkov, 2008). Como información inicial para el cálculo de  $V_z$  se tomaron valores mensuales multianuales de la temperatura del mar (T), salinidad (S), presión atmosférica (Pa) y superficie libre del mar (SLM) de la CPC obtenidos del Modelo Termo-Dinámico 3D de la CPC descrito en Villegas y Málíkov (2006, 2009), la ventana de tiempo fue 1971-2000.

Los valores de  $V_z$  en la capa 0-10 metros se graficaron para identificar los focos y zonas de surgencia mes a mes. Por otra parte, también se graficaron los campos de viento para identificar la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en el desplazamiento de los focos identificados durante todo el año. Los valores de velocidad del viento fueron tomados del National Center for Atmospheric Research (NCAR, 2015) para el mismo período de tiempo. Finalmente, se analizó de forma cualitativa en cada foco de surgencia la relación entre la intensidad de  $V_z$  y la concentración de clorofila *a*. Las imágenes de clorofila *a* fueron tomadas del proyecto Sea Wifs de la National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2015).

Luego de visualizar los datos de  $V_z$ , y clorofila *a*, el siguiente paso fue identificar la localización de los principales focos de surgencia y para estas mismas coordenadas obtener los datos de clorofila *a* del programa Griddap de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015) asociado

al Environmental Research Division's Data Access Program (ERDDAP), que es un servicio que ofrece la NOAA para la distribución de datos científicos. La dinámica de los valores mensuales multianuales de ambas variables se comparó para un período común

entre 1997 y 2000. Finalmente, con base en los datos promedio de los focos fue realizado un análisis de correlación entre  $V_z$  y clorofila *a* para el mismo período 1997-2000.

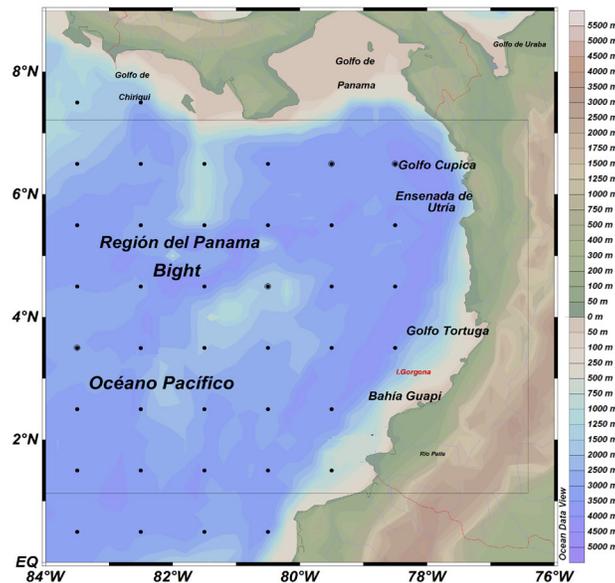


Figura 1. Área de estudio ubicada dentro de la región del Panamá Bight. La escala de colores representa la batimetría de la zona

## RESULTADOS

Las figuras 2 a 13 muestran la relación visual entre el campo de viento asociado al paso de la ZCIT, la distribución de las zonas de surgencia y la concentración de clorofila *a* sobre el área de estudio. En las gráficas de clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia, las líneas punteadas negras indican los valores negativos de  $V_z$  (ascenso) y las líneas continuas negras muestran los valores positivos de  $V_z$  (descenso). Durante el año, la distribución espacial de los focos de surgencia obedece principalmente a la inestabilidad de los vientos, característica de los sistemas atmosféricos localizados sobre la CPC. El comportamiento de los vientos divide en etapas al comportamiento de  $V_z$  en la región.

Durante los primeros cuatro meses del año la ZCIT se desplaza sobre la CPC, en el sector norte los vientos provienen del norte y noreste, y en el sur, los vientos vienen desde el sur y suroeste. En marzo la ZCIT alcanza la posición más al sur de todo el año y, en abril, inicia su desplazamiento hacia el norte. Los frentes at-

mosféricos creados permiten no solo la generación de movimientos de surgencia sino también su desplazamiento y concentración hacia el centro de la CPC. En estos cuatro meses se registran las mayores dimensiones de áreas de surgencia sobre la CPC (figuras 2 a 5).

En abril (figura 5) en el sector norte se observa que los vientos del norte y noreste disminuyen en intensidad con respecto a los meses anteriores, dando lugar a un aumento de los vientos del sur, lo que indica que estos últimos empujan de regreso a la ZCIT hacia al norte. Esta dinámica comienza a partir de marzo, donde en el centro de la CPC se observa una depresión atmosférica que obstruye la intensificación de vientos impidiendo movimientos de ascenso de aguas, lo que podría explicar la división de la zona de surgencia en este mes dejando una, localizada al noreste y otra, al suroeste de la región. La distribución de las zonas de surgencia en abril se encuentra ligada al avance de la ZCIT hacia el norte de la región, lo cual permite que haya mayor concentración e intensidad de zonas de surgencia en el sur de la CPC. Al igual que en febrero y marzo, en el mes de abril la mayor velocidad de ascenso se encuentra al sureste.

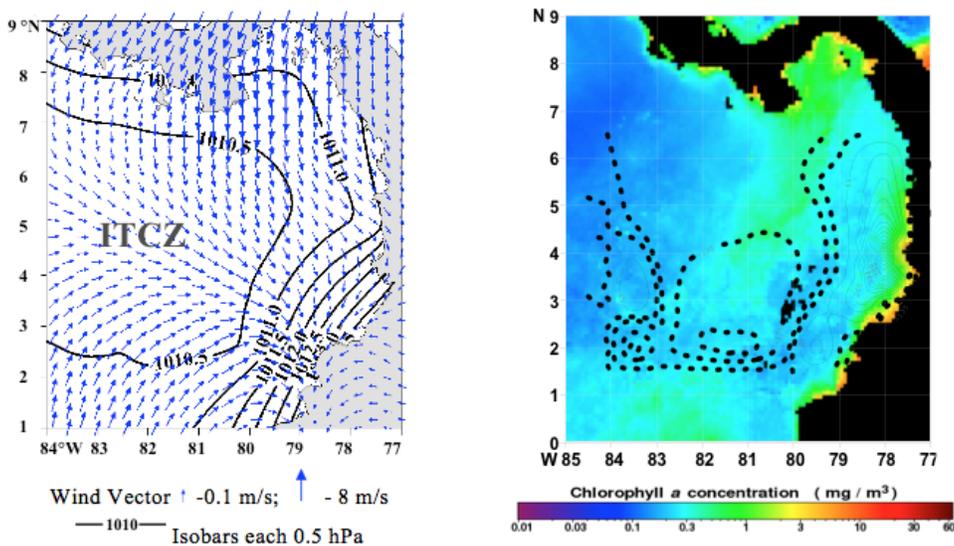


Figura 2. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en enero

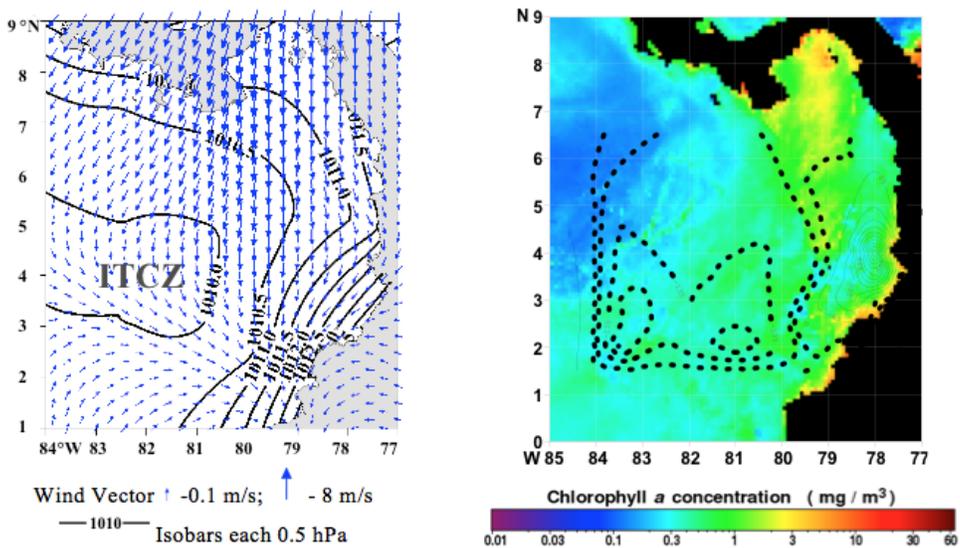


Figura 3. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en febrero

En mayo (figura 6) las zonas de ascenso de aguas disminuyen sus dimensiones, la ZCIT pasa a lo largo del canal de Panamá, por eso los vientos se encuentran actuando sobre las latitudes 2°- 6° N desplazando aguas de oeste a este de la CPC, al mismo tiempo, empieza a disminuir el área de surgencia. En junio (figura 7), las áreas de surgencia siguen disminuyendo,

pero aumenta la intensidad de Vz en los focos principales. La ZCIT en este mes está más hacia el norte, localizando al núcleo de vientos sobre la CPC y, por lo tanto, estos son más intensos que en mayo con desplazamientos y ubicaciones similares, permitiendo continuar el aumento del foco de surgencia.

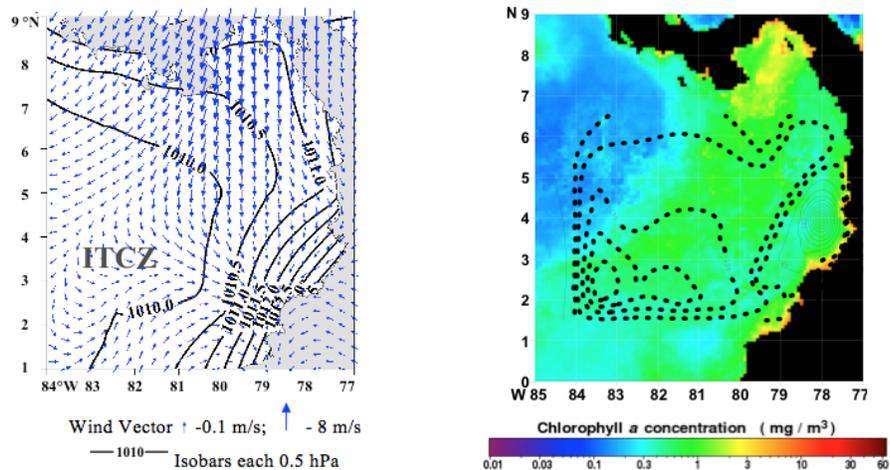


Figura 4. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en marzo

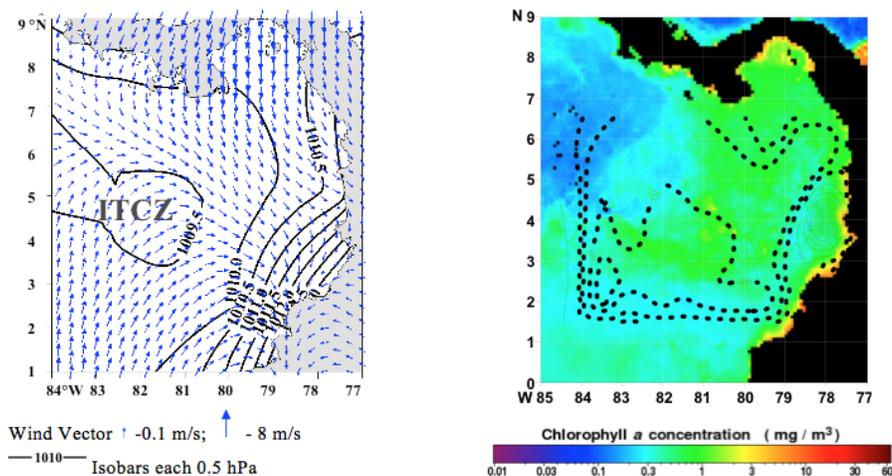


Figura 5. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en abril

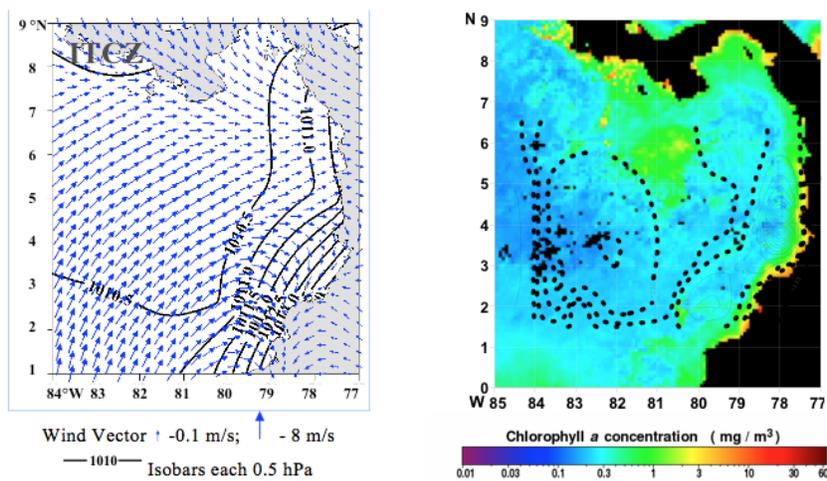


Figura 6. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en mayo

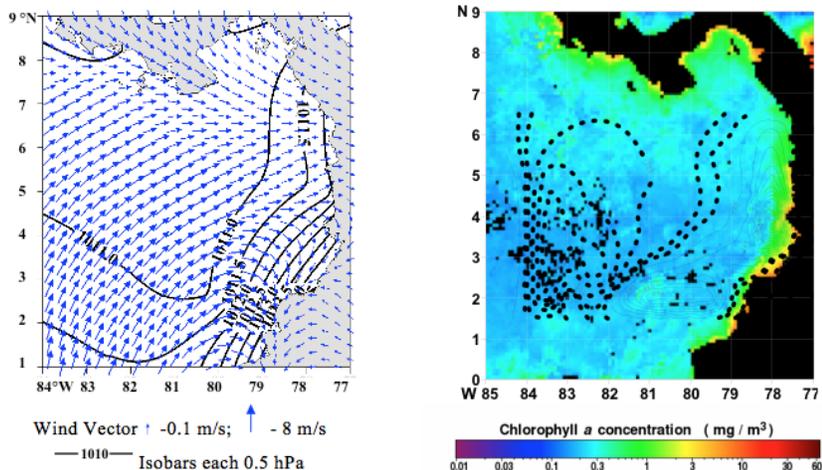


Figura 7. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en junio

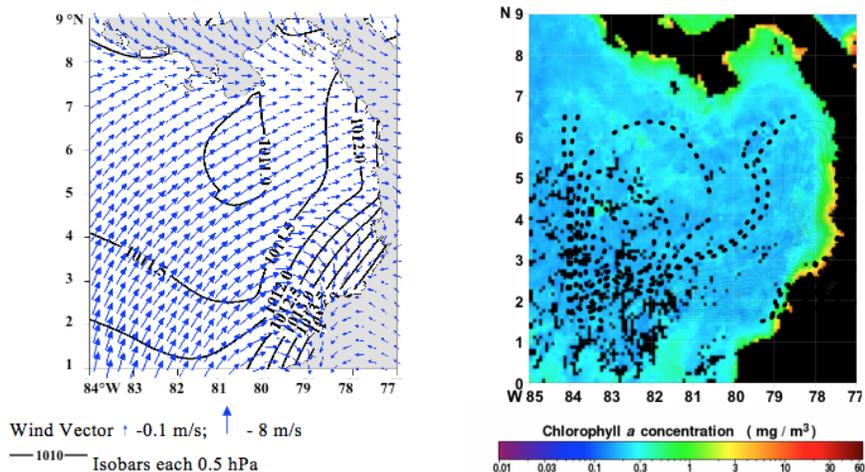


Figura 8. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en julio

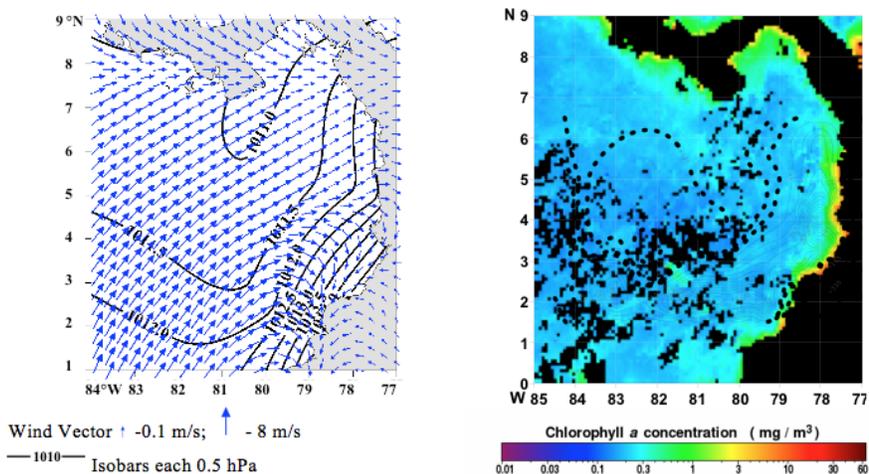


Figura 9. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en agosto

En julio (figura 8) se observa un comportamiento similar al de junio. Para agosto, septiembre y octubre (figuras 9, 10 y 11) las zonas de ascenso de aguas dejan de tener semejanza con los meses analizados. En estos tres meses el foco se desplaza hacia el centro

desde el occidente y subiendo desde el sur de la CPC, por los intensos vientos del suroccidente hacia el nororiente. En septiembre y octubre se registran los valores máximos de velocidad vertical de surgencia.

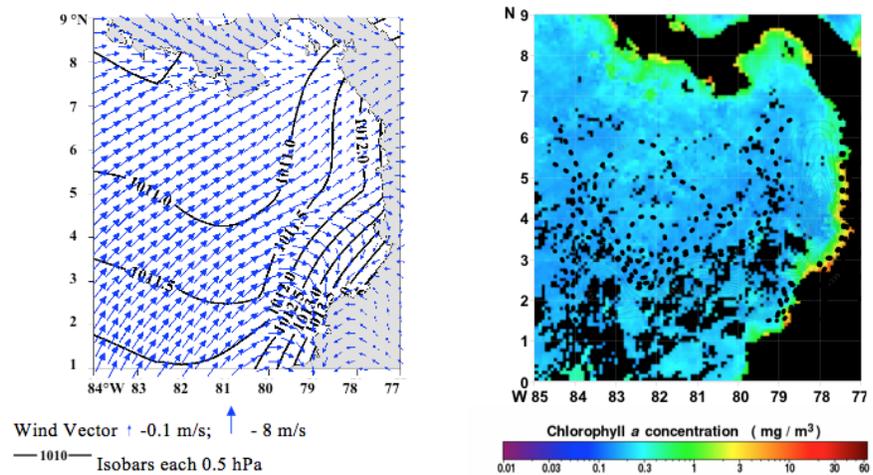


Figura 10. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) en la CPC en septiembre

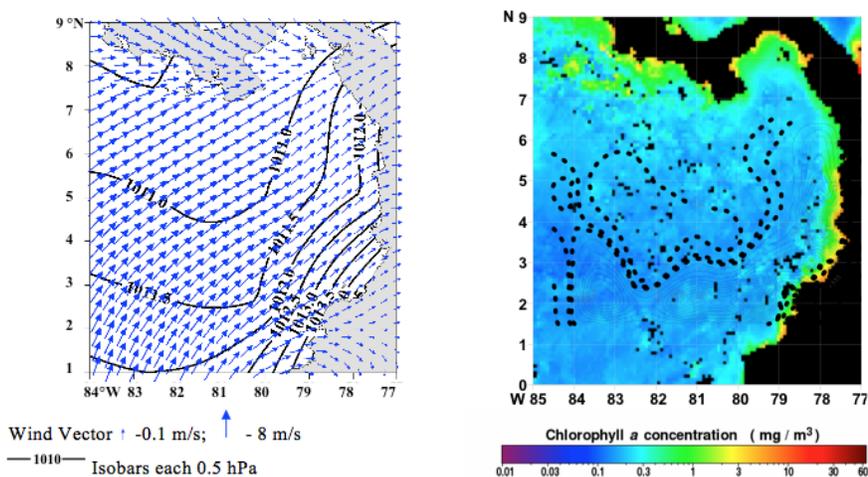


Figura 11. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) en la CPC en octubre.

En noviembre y diciembre (figuras 12 y 13), las zonas de surgencia nuevamente se extienden por varios sectores de la CPC debido al debilitamiento de los vientos desde el suroccidente, ya que la ZCIT empieza su entrada a la región y se registra la disminución de la intensidad de las velocidades verticales. En estos dos últimos meses del año la ZCIT inicia su regreso de norte a sur a la CPC y los vientos permiten que nuevamente haya ascensos de agua en la región de estudio.

En general, en la CPC se observan zonas de surgencia durante todo el año. Los ascensos de agua se perciben en todos los meses. Mientras la ZCIT se encuentra sobre la CPC, en este momento se observan mayores áreas de surgencia y, al contrario, cuando la ZCIT se encuentra fuera de la CPC, las zonas de surgencia disminuyen sus áreas, pero aumenta la intensidad de velocidad en los focos de surgencia.

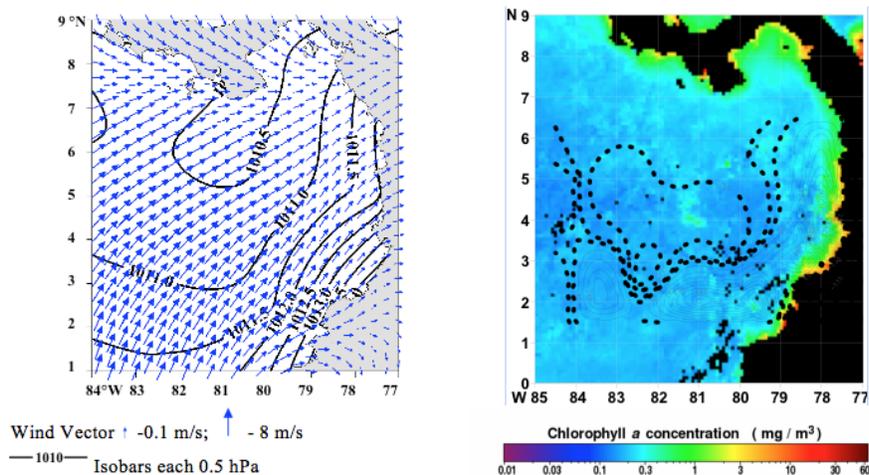


Figura 12. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) en la CPC en noviembre

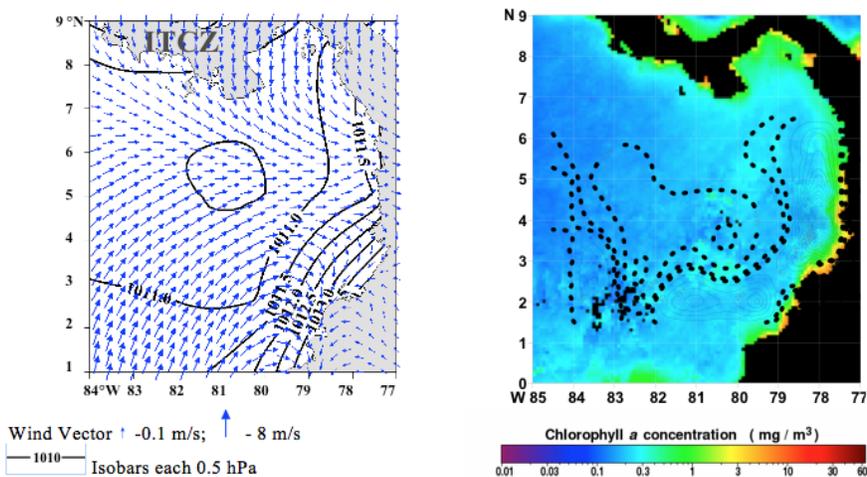


Figura 13. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) en la CPC en diciembre

Los vientos cerca de la costa entre enero y abril tienen dirección norte-sur. Desde el norte de la CPC hasta los 2° 40' N, los vientos ayudan a la surgencia en este sector. Entre 2° y 2° 40' N durante todo el año se observan vientos perpendiculares a la costa y hacia el norte, que obstaculizan a la surgencia en esta zona. Desde mayo hasta diciembre el comportamiento del viento sobre la costa no es favorable a la surgencia y solo se observa en forma ligera a lo largo de toda la costa, excepto en el sector entre los 2° y 2° 40' N. Esta surgencia puede ser formada por el factor baroclínico en la costa dado por la diferencia de densidades causadas por la afluencia de los ríos.

En resumen, de acuerdo con los resultados del cálculo Vz en la CPC, fueron determinadas cuatro zonas de surgencia que se observan durante todo el año. Las zonas de ascenso de aguas se encuentran alrededor de los focos de surgencia localizados en las siguientes coordenadas: el primero entre los 83 -84° W y 1° 30'-2° 30' N, el segundo entre los 81-82° W y 1° 30'-2° 30' N, el tercero entre los 82-83° W y 2° 30'-3° 30' N y, el último en el sector costero entre los 6° 30' y 2° N (figura 14).

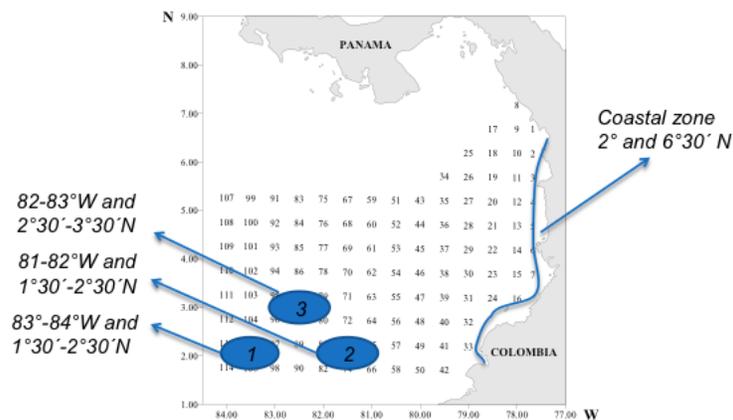


Figura 14. Focos de surgencia localizados de acuerdo con los resultados del cálculo  $V_z$  en la CPC

Con base en los promedios mensuales multianuales, se realizó la comparación observada en las figuras 15 y 16. Se puede ver que las oscilaciones de  $V_z$  y de clorofila *a* en el foco 1 (figura 15a) muestran un comportamiento monomodal. El pico máximo de clorofila *a* se aprecia en febrero, después los valores disminuyen y el mínimo se observa en noviembre. El pico mínimo de  $V_z$  se aprecia en abril, de allí la surgencia desaparece y el máximo de los valores de  $V_z$  se observa en octubre.

El foco 2 (figura 15b) presenta una imagen similar al foco 1, con una suavización de los parámetros analizados. También se observa una correlación opuesta, con el máximo de clorofila *a* en marzo y el mínimo en noviembre. Para  $V_z$  el mínimo se presenta

en abril y el máximo en septiembre. En el foco 3  $V_z$  es negativa durante todo el año. El comportamiento de la clorofila *a* en el foco 3 (figura 16a) es parecido al de los primeros dos focos. El máximo de la clorofila *a* se observa en abril y el mínimo en octubre. Por su parte, el mínimo de  $V_z$  se aprecia en julio y el máximo en octubre.

En la costa, se observan valores negativos de  $V_z$  durante todo el año (figura 16b). El mínimo de  $V_z$  se observa en abril y el máximo entre agosto y octubre. El comportamiento de la clorofila *a* es distinto al de los otros focos, debido a que se observan dos máximos y dos mínimos. El primer máximo se presenta en mayo y el segundo en noviembre, el primer mínimo en febrero y el segundo en agosto.

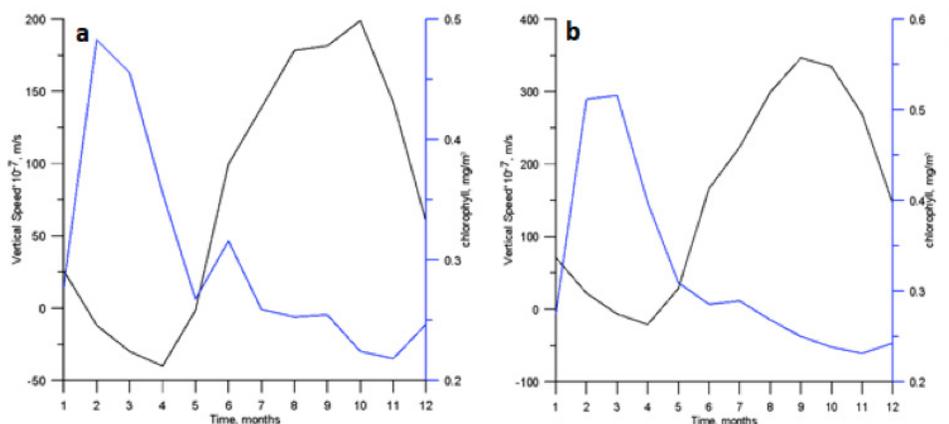
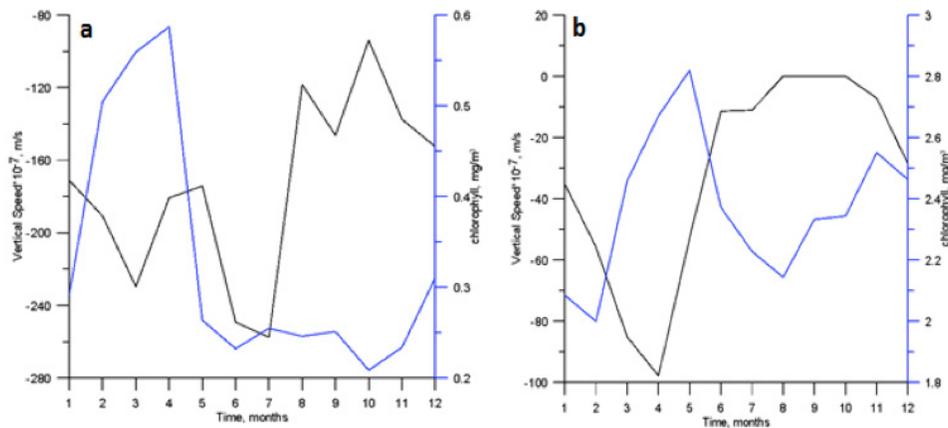


Figura 15. Oscilación anual de  $V_z$  y de clorofila *a* en el foco 1: 83°-84° W y 1° 30'-2° 30' N y foco 2: 81°-82° W y 1° 30'-2° 30' N



**Figura 16.** Oscilación anual de Vz y de clorofila *a* en el foco 3: 82°-83° W y 2° 30′-3° 30′ N y en la zona costera: 6° 30′ y 2° N

Los resultados de la correlación canónica presentan para el foco 1 un coeficiente de correlación igual a 0.54 con un valor p de 0.006. Este coeficiente se obtiene al correlacionar valores de Vz del punto 2° N y 83° W y los valores de clorofila *a* de tres puntos (1: 2° N-83° W; 2: 2° N-83° 30′ W y 3: 2° N-84° W). Para el foco 2 el coeficiente de correlación canónica fue de 0.82 con un valor p 0.007. La correlación fue realizada con Vz y clorofila *a* de 8 puntos (1: 1° 30′ N-81° W; 2: 1° 30′ N-81° 30′ W; 3: 2° N-81° W; 4: 2° N-81° 30′ W; 5: 2° N-82° W; 6: 2° 30′ N-81° W; 7: 2° 30′ N-81° 30′ W y 8: 2° 30′ N-82° W). Para el foco 3 el coeficiente de correlación fue de 0.9 con un valor p de 0.01. La correlación fue realizada con Vz y clorofila *a* de 9 puntos (1: 2° 30′ N-82° W; 2: 2° 30′ N-82° 30′ W; 3: 2° 30′ N-83° W; 4: 3° N-82° W; 5: 3° N-82° 30′ W; 6: 3° N-83° W; 7: 3° 30′ N-82° W; 8: 3° 30′ N-82° 30′ W y 9: 3° 30′ N-83° W).

Para la región de la costa no se obtuvieron resultados significativos, esto puede ser debido a la complejidad de los procesos que se observan cerca de esta, como la influencia de los ríos y el calentamiento y enfriamiento rápido de las aguas someras.

## DISCUSIÓN

La descripción del campo de vientos en la región del Panamá Bight realizada en el presente trabajo es coherente con la realizada por Rodríguez-Rubio (2003), quienes también utilizaron datos satelitales. Por otra parte, guarda relación con los resultados del análisis realizado por Devis *et al.* (2008), en el cual se

explica el efecto del viento sobre la dinámica oceánica en la CPC, allí, el patrón de circulación en la región del Panamá Bight pasa de ser ciclónico en la época de invierno a ser anticiclónico durante el verano debido a que en la primera temporada mencionada el Jet de Panamá (patrón de viento que se presenta en este período), es el que predomina sobre el área de estudio, mientras que en la segunda el que lo hace es el Jet del Chocó. Estos cambios que describe Devis *et al.* (2008) son causados justamente por el aquí descrito desplazamiento de la ZCIT sobre la región que al migrar de sur a norte y de norte a sur a lo largo del año, va modificando la magnitud y dirección de viento y por consiguiente las demás variables asociadas como el esfuerzo del viento o su correspondiente rotacional.

Por su parte la dinámica de las zonas de surgencia, también explicada en detalle en los trabajos de Díaz *et al.* 2008 y 2009, corresponde con los análisis de Rodríguez *et al.* (2002), Devis *et al.* (2008) y Giraldo *et al.* (2008), autores que describen características de la estructura termohalina concluyendo que durante el período de invierno hay un ascenso de la termoclina y luego en época de verano un descenso. Este comportamiento descrito es congruente con los resultados de surgencia mostrados mes a mes en el presente trabajo. La diferencia principal radica en que la variable utilizada para determinar las zonas con afloramiento en este caso se trató directamente de la velocidad vertical de surgencia y en el caso de los demás trabajos se han utilizado principalmente variables como el bombeo de Ekman que si bien dan

cuenta de un proceso físico similar, son calculadas de forma distinta.

La superposición de la velocidad vertical de surgencia y los valores de clorofila *a* (figuras 2 a 13) muestran que una concentración alta a lo largo de la costa del Pacífico colombiano, coincide con las zonas de surgencia encontradas en este sector. Desde enero la clorofila *a* empieza su expansión en la parte central del CPC y esto se registra hasta el mes de abril (figuras 2 a 5). De acuerdo con estudios en aguas panameñas (Wooster 1959; Wyrcki 1965; Smayda 1966; Stevenson *et al.* 1970), existe una gran zona de surgencia en el golfo de Panamá situada entre los 7° y 9° N con temperaturas relativamente bajas y salinidades altas, que influye en las aguas de la CPC. Este afloramiento ocurre principalmente en los primeros meses del año y su acción se debilita anualmente a partir de mayo. En este mes (figura 6) se ve una notable disminución de clorofila *a* en el centro de la CPC y una disminución de la parte central de la zona de surgencia. De junio hasta diciembre no se ven concentraciones altas de clorofila *a* (figuras 7 a 13). En general, se observa que la distribución de la concentración de clorofila *a* en los meses vistos es similar a la distribución de las zonas de surgencia resultante de los cálculos de Vz.

Los cálculos de Vz y la determinación de zonas de surgencia realizados en el presente trabajo son una aproximación de lo que se podría ver mes a mes en la CPC y sirven como referencia para la continuación de esta investigación con el aumento de información inicial. Pero es necesario tener en cuenta que, en primer lugar, los cálculos de Vz se han hecho con valores promedio mensuales de temperatura y salinidad del mar, y en segundo lugar, la información de clorofila *a* no es representativa para el período de cálculos de Vz. Lo anterior, permite sugerir que se realice esta investigación con datos de temperatura y salinidad del mar en un período más corto (semanas) para el cálculo de Vz y su comparación con clorofila *a* del mismo período no solo provenientes de imágenes satelitales sino también con valores *in situ*, aumentando al análisis de concentración de oxígeno disuelto y de nutrientes. Aunque ya se han realizado trabajos similares ha sido para períodos de tiempo cortos pero dichos resultados son la base para continuar investigando en esta dirección (2002). Esto permitiría obtener una representación completa de las zonas de productividad por surgencias.

También sería interesante efectuar un seguimiento de características oceanográficas de corrientes (velocidad, dirección, temperatura, salinidad) como la Corriente Ecuatorial del Norte, la Contracorriente Ecuatorial, la Corriente Ecuatorial del Sur, la Corriente del Golfo de Panamá, la Corriente de Colombia y la Contracorriente Subsuperficial de Cromwell, para definir si son estas las que influyen en el desplazamiento de clorofila *a* en la CPC. Algunos trabajos que también describen procesos físicos coherentes con los expuestos e involucran adicionalmente variables como corrientes, gradientes verticales de temperatura y oleaje, son los realizados recientemente por Devis *et al.* (2014), Osorio *et al.* (2014) y Portilla *et al.* (2015), quienes han hecho uso especialmente de modelos oceánicos regionales para evaluar aspectos hidrodinámicos de la CPC y las posibilidades de obtener energías renovables.

## CONCLUSIONES

La distribución e intensidad de ascensos de agua en la CPC está de acuerdo con la migración de la ZCIT. En la CPC se observan zonas de surgencia durante todo el año. La mayor extensión de estas zonas se aprecia en los primeros meses, especialmente entre marzo y abril. En mayo las zonas de afloramiento empiezan a disminuir y son menores entre agosto y octubre. Los focos de surgencia durante los primeros meses del año tienen mayor intensidad en el sector sur, suroeste y central de la CPC. De agosto a octubre se concentran en el centro al este de la CPC, en noviembre y diciembre empiezan nuevamente a distribuirse hacia el sur y ampliamente sobre la CPC. En el área costera se detectan leves zonas de surgencia. Durante el año climático la clorofila *a* se observa en todos los meses con alta concentración a lo largo de la costa del CPC, lo cual coincide con las zonas de surgencia encontradas en este sector. La distribución de clorofila *a* tiene semejanza con la distribución de las zonas de surgencia. En mayo hay disminución de clorofila *a* y de la zona de surgencia en el centro de la CPC. De junio a diciembre no se ven concentraciones altas de clorofila *a*.

## REFERENCIAS

- Devis, A., García, I., Málikov, I., & Villegas, N. (2002). *Compilación oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana*. CCCP, Bogotá, Colombia.

- Devis-Morales, A., Schneider, W., Montoya-Sánchez, R., & Rodríguez-Rubio, E. (2008). Monsoon-like winds reverse oceanic circulation in the Panama Bight. *Geophysical Research Letters*, *35*(20), 1-6, doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL035172>
- Devis-Morales, A., Montoya-Sánchez, R. A., Osorio, A. F., & Otero-Díaz, L. J. (2014). Ocean thermal energy resources in Colombia. *Renewable Energy*, *66*, 759-769.
- Díaz, D., N. Villegas & Málíkov, I. (2008). Descripción de los ciclos de ascenso de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano durante el año y su relación con factores meteorológicos asociados con zona de convergencia intertropical. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*, *27*(2), 200-206.
- Díaz, D., Villegas, N., & Malikov, I. (2009). Clorofila, características de las zonas de surgencia de la Cuenca del Pacífico Colombiano y su relación con la Zona de Convergencia Intertropical. *Boletín Científico CIOH*, *26*(1), 59-72.
- Giraldo, A., Rodríguez-Rubio, E., & Zapata, F. (2008). Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia. *Latin American Journal of Aquatic & Research*, *36*(1), 121-128.
- NOAA. (sf). Datos de clorofila *a* del programa Griddap. Disponible en: <http://coastwatch.pfel.noaa.gov/erddap/griddap/index.html>.
- NASA. (sf). Datos de clorofila *a* del NASA's OceanColor Web. Disponible en: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/desde>
- NCAR. National Center for Atmospheric Research. (sf). Valores de velocidad del viento. Disponible en <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>.
- Osorio, A. F. A., Peláez-Zapata, D. S., Guerrero-Gallego, J., Álvarez-Silva, O., Osorio-Cano, J. D., Toro, F. M., & Giraldo, A. (2014). Hydrodynamics applied to the management and conservation of marine and coastal ecosystems: Gorgona Island, Colombian Pacific Ocean. *Revista de Biología Tropical*, *62*, 133-147.
- Portilla, J., Caicedo, A. L., Padilla-Hernández, R., & Cavaleri, L. (2015). Spectral wave conditions in the Colombian Pacific. *Ocean Modelling Ocean*, *92*, 149-168.
- Rodríguez-Rubio, E., & Stuardo, J. (2002). Variability of photosynthetic pigments in the Colombian Pacific Ocean and its relationship with the wind field using ADEOS-I data. *Journal of Earth System Science*, *111*(3), 227-236.
- Rodríguez-Rubio, E., Schneider, W., & Abarca del Río, R. (2003). On the seasonal circulation within the Panama Bight derived from satellite observations of wind, altimetry and sea surface temperature. *Geophysical Research Letters*, *30*(7), 227-236.
- Smayda, T. (1966). A quantitative analysis of the phytoplankton of the gulf of Panamá 3. General ecological conditions and the phytoplankton dynamics at 80° 45' N, 79° 23' W, from November 1954 to May 1957. *Inter-Amer. trop. Tuna Comm. Bull*, *11*(5), 353-612.
- Stevenson, M., Guillen, G. & Santorode y Caza J. (1970). *Marine atlas of the Pacific coastal waters of South America*. Berkeley, Univ. Calif. Press. 23 p.
- Villegas, N. (1997). Estudio del movimiento de las aguas en la región este de la Cuenca del Pacífico Colombiano. *Boletín CCCP*, *6*, 71-80.
- Villegas, N. (1997a). Movimiento vertical de las aguas en el Pacífico colombiano durante junio y octubre de 1996. *Boletín CCCP*, *6*, 81-93.
- Villegas, N. (2001). Estructura vertical de las aguas en la Cuenca del Pacífico Colombiano – Mayo 2000. *Informe CCCP*, 72 p.
- Villegas, N., & Málíkov, I. (2006). Modelación de la estructura dinámica de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano. *Boletín CCCP*, *13*, 97-114.
- Villegas, N., & Málíkov, I. (2008). Software aplicativo para el cálculo de corrientes verticales de la Cuenca del Pacífico Colombiano: Estructura Vertical de las Aguas EVA. V.1. Universidad Nacional de Colombia. Certificado de registro de soporte lógico. Dirección Nacional de Derechos de Autor. Libro 13. Tomo 20. Partida 210.

Villegas, N., & Málikov, I. (2009). *Atlas de las características termohalinas y dinámicas de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano con base en simulación matemática*. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblos. 218 p.

Wooster, W. (1959). Oceanographic observations in the Panama Bight "Askoy Expedition", 1941. *Amer. Mus. Nat. Hist. Bull.*, 118(3), 115-151.

Wyrski, K. (1965). Oceanographic observations in the Panamá bight. "Askoy" Expedition, 1941. *Amer. Mus. Nat. Hist., Bull.*, 118(3), 113-152.

# Meteorología, socioeconomía y gestión del riesgo de desastres del evento El Niño Oscilación del Sur en Colombia

Rubén Azcárate,<sup>1\*</sup> Angélica Mejía-Fajardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Naturales y Ambientales. Bogotá D. C., Colombia.

<sup>2</sup>Comisión Colombiana del Océano, Asesora área de gestión integral del territorio marino costero, Bogotá D. C., Colombia.

\*Autor para correspondencia: [ruben.azcarate@utadeo.edu.co](mailto:ruben.azcarate@utadeo.edu.co)

## RESUMEN

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es un evento de variabilidad climática interanual. En Colombia durante la fase cálida “El Niño” se atenúan los períodos lluviosos e intensifican los secos sin seguir un patrón común en las regiones Andina, Caribe y en la parte norte de la región Pacífica mientras que en la fase fría “La Niña” sucede lo contrario, se intensifican las lluvias y se atenúa la época seca. Estos eventos han generado efectos perjudiciales en los sectores económicos agropecuario, energético, transporte, vivienda y ambiental. Desde la década de los 80 se hizo evidente fortalecer los sistemas de monitoreo meteorológico, los modelos de predicción y desarrollar los planes de contingencia de respuesta ante emergencias. Sin embargo, para que los modelos de predicción climática sean más acertados es necesario que las mediciones *in situ* sean continuas y estandarizadas, además de la generación de índices socioeconómicos que permitan mejorar las medidas de gestión del riesgo de desastres sociales, físicos y ambientales generados por eventos extremos en el país asociados al ENOS.

**Palabras clave:** variabilidad climática, modelos de predicción, sectores económicos, gestión del riesgo

**Editor:** Hernández Fernández, J.  
[javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

**Citation:** Azcárate, R., Mejía-Fajardo, A. (2016). Meteorología, socioeconomía y gestión del riesgo de desastres del evento El Niño Oscilación del Sur en Colombia. *Mutis* 6(2), 95-109, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1154>

**Received:** Mayo 28, 2016. **Accepted:** Julio 29, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

**Copyright:** ©2016: Azcárate, R., Mejía-Fajardo, A.. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Competing Interests:** The authors have no conflict of interest.

## Meteorology, socioeconomics and disaster risk management of the El Niño Southern Oscillation in Colombia.

### ABSTRACT

The El Niño Southern Oscillation (ENSO) is a climate variability event. In Colombia during the warm phase “El Niño” rainy periods are dimmed and intensify dry without following a common pattern in the Andean, Caribbean and the north-Pacific regions while the cold phase “La Niña” opposite happens, rains intensify and the dry season is attenuated. These events have generated adverse effects on the agriculture, energy, transport, housing and environmental economic



sectors. Since the 80s it became evident to strengthen the weather monitoring systems, predictive models and develop the contingency plans for emergency response. However, in order to get more accurate climate prediction models it is necessary that the *in situ* measurements are continuous and standardized, in addition to the generation of socio-economic indices to improve risk management of social, physical and environmental disasters generated by these extreme events in the country associated to ENSO.

**Keywords:** climate variability, predictive models, economic sectors, risk management

## INTRODUCCIÓN

Colombia recibe la influencia directa de los procesos involucrados en el acoplamiento océano-atmósfera del Pacífico tropical asociados al evento El Niño Oscilación del Sur (ENOS); causante de la mayor señal de variabilidad climática en la escala interanual a través de sus dos fases: El Niño y La Niña, vinculados a la aparición de aguas superficiales en el Pacífico tropical central y oriental más cálidas o más frías—respectivamente— frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia (Díaz y Markgraf, 2000; Kovats *et al.*, 2003; Montealegre, 2007). Además, durante El Niño se presenta el debilitamiento a gran escala de los vientos Alisios y desplazamiento del núcleo de convección profunda del oeste hacia el centro del océano. En contraste, durante La Niña los Alisios se intensifican y el núcleo de convección se mantiene al oeste (Maturana *et al.*, 2004; Montealegre, 2007; Montealegre, 2012; Pinilla y Pinzón, 2012; Alonso-Másmela, 2014).

En general, la intensidad de los eventos ENOS está directamente ligada con la magnitud de las anomalías registradas en la temperatura superficial del mar (TSM), subsuperficial del océano (Montealegre, 2014) y de influencias azarosas diferentes a las del efecto climático como los efectos negativos sobre el medio físico natural y socioeconómico que están más relacionados con la vulnerabilidad de las diferentes regiones de Colombia y de sus sectores económicos (UNGRD, 2015).

Por lo anterior, existe la necesidad de fortalecer los mecanismos de monitoreo y predicción de variabilidad climática en el país integrando los esfuerzos y

capacidades de instituciones de orden técnico-científicas con el fin de generar información que permita preparar y prevenir a la comunidad nacional ante los eventos ENOS y sus efectos, buscando atenuar sus impactos ambientales y socioeconómicos (CCO, 2014). Las alertas y comunicados nacionales acerca del El Niño o La Niña se emiten con base en los reportes de distintas instituciones internacionales: NOAA, IRI, CP-TEC y el ECMWF, entre otros; las cuales estudian principalmente las condiciones del Pacífico en las regiones centro-occidental y central (Montealegre, 2007; Jiménez, 2008; Montealegre, 2012; Alonso-Másmela, 2014) debido a que evidencian los contrastes por la termodinámica oceánica y sus repercusiones globales al punto de faltar consenso científico mundial respecto al tipo de índice a utilizar porque algunos se basan en la magnitud de las anomalías oceánicas, atmosféricas, mixtas, en la magnitud del efecto climático o el impacto económico generado (Montealegre, 2014). Por lo cual Colombia debe generar índices que describan las condiciones océano-atmosféricas locales oportunamente.

## DISCUSIÓN

### Desarrollo de investigaciones sobre ENOS en Colombia

Un modo directo de mitigar el impacto socioeconómico generado por la variabilidad interanual de la precipitación es la predicción climática (UNGRD, 2015). La necesidad de elaborar predicciones de tipo climático en Colombia existe desde el evento El Niño de 1982-1983 pero se hizo evidente a raíz del severo efecto sobre las lluvias, la temperatura del aire y absorción de radiación solar que se produjo por el evento ocurrido en 1991-1992 —el cual provocó significativas repercusiones económicas, particularmente en el sector hidroenergético y termoenergético del país— (CAF, 1998). Los primeros esfuerzos consistían en la aplicación de modelos e incluir algunos aspectos relacionados con la variabilidad climática estacional e interanual en los pronósticos climáticos y de caudales de esa época (Montealegre, 2012; UNGRD, 2015), insuficientes para tomar las decisiones gubernamentales de preparación y prevención ante los efectos del próximo evento El Niño o La Niña.

En 1997 el IDEAM prevé la ocurrencia de un evento El Niño durante ese mismo año, asumiendo desde entonces la responsabilidad de suministrar información

de eventos ambientales, a partir de lo cual se resaltan los informes de CAF (1998) y CEPAL (1999) consolidándose la capacidad nacional de predicción del efecto climático de los eventos ENOS. A raíz de las repercusiones del fuerte evento El Niño ocurrido en 1997-1998 se dio origen a estudios que contenían lo publicado sobre el tema hasta ese momento. Orientadas hacia el análisis de la frecuencia de las alteraciones mensuales de precipitación en diferentes regiones del país (Pabón y Montealegre, 1998; Montealegre, 2014), se produjeron predicciones con probabilidades superiores hasta del 75%. En la década siguiente, el IDEAM difunde el “Programa Integral Multidisciplinario para el estudio sobre el fenómeno El Niño”, que incluía un plan de acción de 10 años (IDEAM, 2003) y actualizó el componente meteorológico del modelo para mejorar la resolución y análisis de anomalías en las precipitaciones durante épocas secas y lluviosas en diferentes regiones del país (Montealegre, 2007; CPPS, 2015; IDEAM, 2015).

En el 2004 Cardona *et al.* permitieron a través del seguimiento de cinco desastres de gran magnitud (no ENOS), desde sus orígenes hasta sus consecuencias y costos, dar enfoque socioeconómico a la gestión del riesgo de desastres (GRD) del país dando lugar a grandes estudios como los del BID y CEPAL (2006), Caicedo (2007) y Pabón y Torres (2007) que cubren las afectaciones en el territorio colombiano durante el siglo XX.

Desde 2010, los estudios publicados e informes institucionales de gran escala en el país como Euscátegui

y Hurtado (2011), Moreno-R y Cardona-A (2011), CEPAL (2012), Yamin *et al.* (2013), Montealegre (2014), IDEAM (2015) y UNGRD (2015), tienen una dirección y visión integradas para el desarrollo de conocimiento y acción del gobierno ante situaciones de riesgo de desastres con ejecución de la Política para la Gestión del Riesgo de Desastres (Congreso Nacional, 2012) en conjunto con la creación del SNGRD. La Comisión Colombiana del Océano como punto focal de cooperación interinstitucional nacional e internacional sobre el ENOS, emite, elabora y difunde mancomunadamente con las entidades del Comité Técnico Nacional para el Estudio del Fenómeno de El Niño (CTN-ERFEN) los comunicados nacionales correspondientes con el objetivo de dar información actualizada y de fácil entendimiento para que las entidades tomadoras de decisiones ejecuten las acciones de respuesta oportunas y adecuadas. En 2015, se evidenció esta cooperación interinstitucional en el comunicado emitido en marzo en el que se consolidó la declaración de situación de alerta ENOS para Colombia, iniciando como un evento El Niño de intensidad débil, que alcanzó la categoría de “fuerte” en octubre del mismo año, y estimándose que duraría hasta marzo de 2016 (Figura 1) (CTN-ERFEN, 2015; IDEAM, 2015; IRI, 2015). Actualmente el IDEAM indica condiciones de neutralidad en el Pacífico tropical, con una probabilidad significativa de presentarse en agosto condiciones propicias para el inicio de un evento La Niña, el cual podría consolidarse al final del 2016 (IDEAM, 2016b).

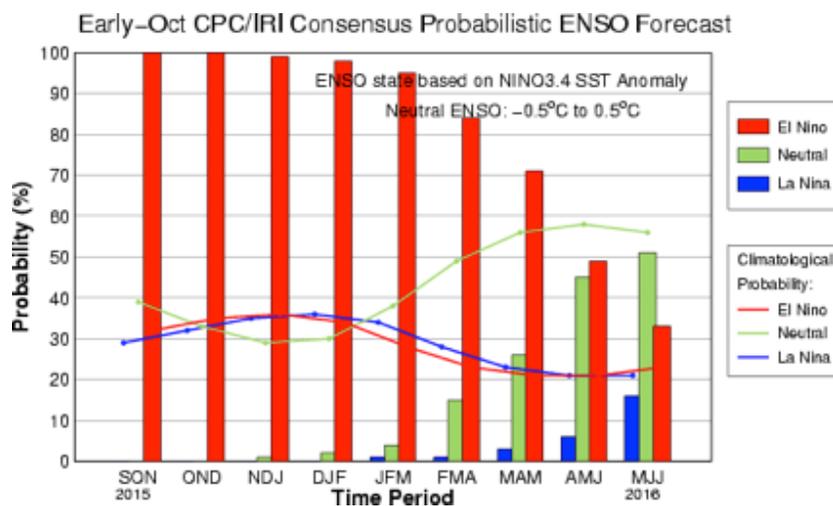


Figura 1. Pronóstico ENOS para la ocurrencia de un evento cálido basado en la proyección de anomalías de la TSM en la región 3.4 en inicios de octubre (IRI, 2015).

## Desarrollo del ciclo ENOS y su efecto climático en Colombia

Los eventos El Niño y La Niña son parte del sistema global climático. Acontecen cuando el océano Pacífico y su componente atmosférico cambian su estado 'neutral' por diversas razones y estos cambios son conocidos como el ciclo ENOS (BOM, 2016). La fase cálida del ciclo ENOS (El Niño) es un evento océano-atmosférico, caracterizado por el debilitamiento a gran escala de los vientos Alisios y calentamiento superficial del mar en el océano Pacífico ecuatorial del este y central (Figura 2A), evidenciado a través de anomalías positivas de la TSM (Maturana *et al.*, 2004; Pinilla y Pinzón, 2012; IDEAM *et al.*, 2014).

La Niña es un evento oceanográfico que produce una intensificación del funcionamiento de la celda de Walker, reforzamiento de los vientos Alisios, acumulación de aguas cálidas al oeste del Pacífico y fortalecimiento de la surgencia frente a las costas ecuatoriales (Figura 2B). Como consecuencia de esto, disminuye la profundidad de la termoclina y se observa la presencia de anomalías negativas de TSM y del nivel del mar en dicho sector (Maturana *et al.*, 2004), se manifiesta principalmente en condiciones atmosféricas más secas que lo normal alrededor del trópico y a lo largo de las latitudes subtropicales de América del Sur y al mismo tiempo, la lluvia es muy abundante sobre Indonesia, Malasia y Norte de Australia (CAF, 1998; Maturana *et al.*, 2004; IDEAM *et al.*, 2014).

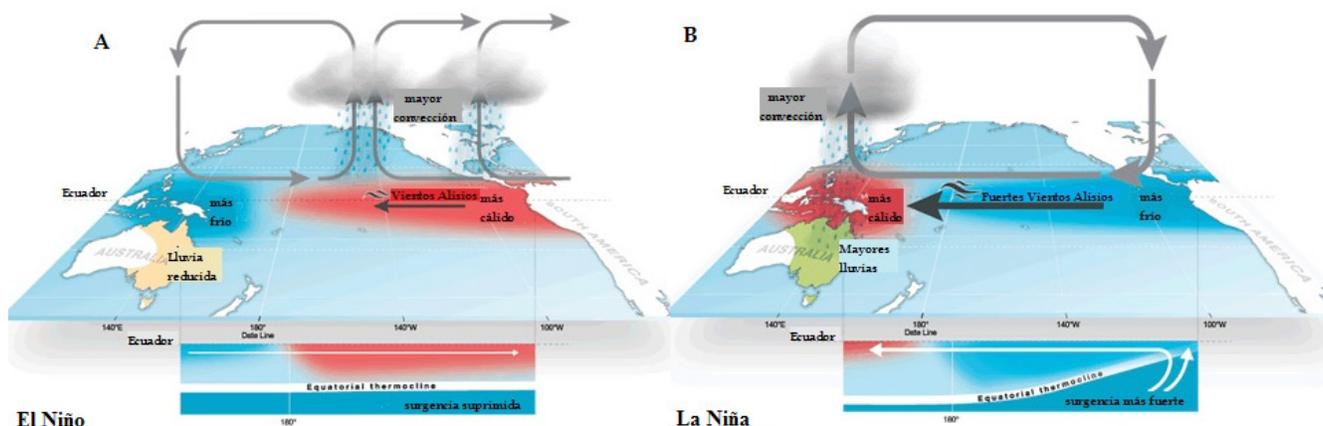


Figura 2. Condiciones ENOS A) El Niño y B) La Niña (modificado de BOM, 2016).

Algunos de los factores claves en la generación del ENOS es el debilitamiento, inversión de dirección o fortalecimiento de los vientos Alisios del este inducido por variaciones del viento de la zona tropical en diferentes escalas espacio-temporales; entre lo más influyentes en la escala interestacional se encuentran las ondas Madden-Julian, en la escala interanual la oscilación cuasibienal (QBO) del viento zonal en la estratosfera inferior, la oscilación cuasibienal en la troposfera (TBO) y en ocasiones las erupciones volcánicas (Pabón y Montealegre, 2013; Gabis, 2015). Adicionalmente, en la escala interdecadal los procesos del sistema climático global como la oscilación decadal del Pacífico (PDO) guarda estrecha relación con la variabilidad de las condiciones ENOS (Dean y Kemp, 2004; Montealegre, 2014).

El clima de Colombia es muy variado, tanto a lo largo de su territorio como en su expresión temporal. Esta diversidad climática está determinada en gran medida por la ubicación geográfica en la zona ecuatorial y por las características fisiográficas del territorio colombiano (CAF, 1998; CEPAL, 1999; IDEAM, 1997; CCO, 2011; Alonso-Másmela, 2014). El ciclo hidrológico anual es controlado por la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT), los patrones orográficos de los Andes, la interacción oceánica con una circulación de tipo monzónico en la región costera Pacífica que aporta humedad al sur de la vertiente de la cordillera occidental, la evapotranspiración de la cuenca Amazónica constituida como una rica fuente de humedad que generan un comportamiento bimodal de precipitación durante el año en la mayor parte de la región Andina y Caribe y monomodal en la Orinoquía y Amazonía (IDEAM, 2002; Poveda *et al.*, 2002; CCO, 2011; IDEAM, 2012; Hoyos *et*

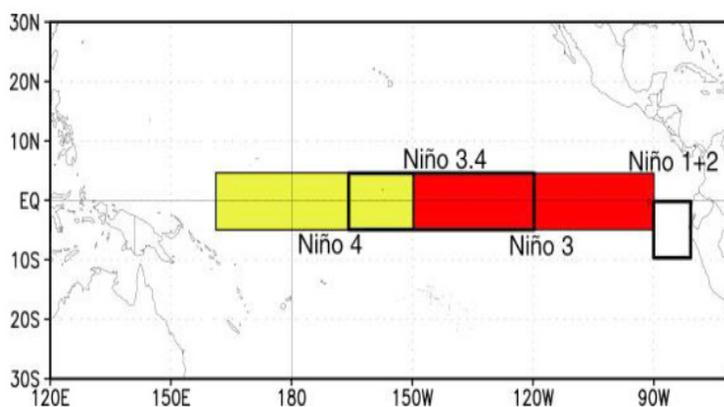
*al.*, 2013). Estos factores de escala estacional o anual en conjunto con la variabilidad interanual (causada por el ciclo ENOS), afectan considerablemente las actividades socioeconómicas nacionales y hacen del clima de Colombia en extremo heterogéneo y dinámico (CAF, 1998; CEPAL, 1999; BID, 2010; IDEAM, 2012).

Durante el ENOS la afectación del régimen de lluvias no sigue un patrón común, es diferencial a lo largo y ancho del territorio nacional (Caicedo, 2007; Alonso-Másmela, 2014). Durante El Niño hay déficit en los volúmenes de precipitación en las regiones Andina, Caribe y en la parte Norte de la región Pacífica. En contraste con la situación anterior, generalmente las lluvias son más abundantes de lo tradicional en el sur de la región Pacífica colombiana, en la vertiente oriental de la cordillera Oriental y en algunos sectores de la Amazonia (CAF, 1998; Hurtado y González, 2010; Euscátegui y Hurtado, 2011; León-Aristizábal, 2011; Montealegre, 2012; IDEAM, 2012; IDEAM *et al.*, 2014; CTN-ERFEN, 2015). Las sequías ocasionadas por la reducción de lluvias y las heladas producto de la disminución drástica de temperaturas en horas de la madrugada afectan drásticamente la producción agropecuaria en todo el país (CAF, 1998; Barrero-P, 2005;

BID y CEPAL, 2006; Pabón y Torres, 2007; Meza *et al.*, 2010; IDEAM, 2012; Ortega-Gaucin y Velasco, 2013).

### Pronóstico climático y monitoreo de ENOS

Para pronosticar y monitorear las condiciones ENOS existen índices basados en cuatro regiones del Pacífico tropical (Figura 4), la región occidental o Niño 4, la región centro-occidental o Niño 3.4/ONI, región central o Niño 3, caracterizada por presentar las máximas anomalías en la TSM, el calentamiento en esta región influye en la atmósfera global, siendo probablemente el mejor indicador individual de un episodio ENOS en relación a las precipitaciones para el país, y la región oriental o Niño 1+2 (Poveda *et al.*, 2002; Jiménez, 2008; Meza *et al.*, 2010; Montealegre, 2012; Montealegre, 2014), indicadora de los cambios inducidos por El Niño en los patrones de la variabilidad de la costa del Pacífico de Suramérica que incluye las costas de Perú y Ecuador junto con las islas Galápagos (Jiménez, 2008). La región Niño 3.4 ubicada entre las regiones Niño 4 y 3, se emplea como un indicador de la correlación entre la TSM y el índice El Niño oceánico (ONI) (NOAA, 2015).



**Figura 3.** Regiones El Niño definidas para el seguimiento y vigilancia del evento cíclico ENOS (NOAA, 2016b).

Se han desarrollado índices oceánicos, atmosféricos y multivariados, algunos de los cuales son calculados utilizando un periodo base que es un intervalo de referencia que abarca el promedio de 30 años de datos. Entre los oceánicos el índice El Niño oceánico (ONI) es el más utilizado, se calcula como la media móvil de tres meses de las anomalías de TSM medidas *in situ* en la región 3.4 delimitando los episodios como fríos o cálidos (Figura 4) basados en un umbral de  $\pm 0.5$  °C durante

mínimo cinco temporadas superpuestas consecutivas (Montealegre, 2007, 2012; NOAA, 2015). Sin embargo, en 2015 la NOAA recalculó el ONI histórico articulándolo con otros índices que permitieron encontrar consistencias del acoplamiento océano-atmósfera de los eventos ENOS expeditados en EEUU. En contraste, para Colombia el cambio del registro histórico ENOS presenta inconsistencias con algunos de los eventos declarados, por tal motivo en el país se continúa utilizando el

registro anterior del índice ONI de la NOAA—versión 3b (Hoyos *et al.*, 2013; NOAA, 2016a).

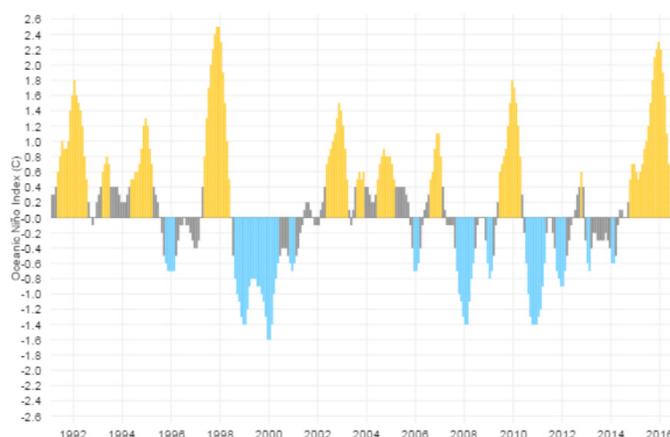


Figura 4. Índice de Oceanico El Niño (ONI) desde 1990 - 2016 (Dahlman, 2016).

Desde 1950 se han reportado en total 20 eventos El Niño y 17 La Niña (Tabla 1) por medio de este índice (Hoyos *et al.*, 2013; NOAA, 2016a). El IDEAM clasifica los eventos ENOS como débiles, moderados o fuertes con base en la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la serie de anomalías de la temperatura superficial del mar

(aTSM) en la región Niño 3. Siendo débiles aquellos con valores de aTSM entre  $1.0\sigma < aTSM \leq 1.5\sigma$  (equivalente a  $\pm 1.03$  a  $\pm 1.48^\circ\text{C}$ ), moderados entre  $1.5\sigma < aTSM \leq 2.0\sigma$  ( $\pm 1.49$  a  $\pm 1.94^\circ\text{C}$ ) y fuertes con  $aTSM > 2.0\sigma$  ( $> \pm 1.94^\circ\text{C}$ ) (Montealegre, 2014).

Tabla 1. Magnitudes y valores de anomalías ONI máximas alcanzadas durante eventos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) desde 1950, de la versión 3b (modificado de NOAA, 2016a).

El Niño			La Niña		
Fecha	Valor ONI	Magnitud	Fecha	Valor ONI	Magnitud
1951-52	1.2	Débil	1949-50	-1.4	Débil
1953-54	0.8	Débil	1950-51	-0.8	Débil
1957-58	1.8	Fuerte	1954-56	-1.7	Moderada
1958-59	0.6	Débil	1964-65	-0.8	Débil
1963-64	1.4	Moderado	1970-72	-1.3	Moderada
1965-66	1.9	Fuerte	1973-74	-2.0	Fuerte
1968-70	1.1	Débil	1974-76	-1.7	Fuerte
1972-73	2.1	Fuerte	1983-84	-0.9	Débil
1976-77	0.8	Débil	1984-85	-1.1	Débil
1977-78	0.8	Débil	1988-89	-1.9	Fuerte
1982-83	2.2	Fuerte	1995-96	-0.9	Débil
1986-88	1.6	Moderado	1998-2001	-1.7	Moderada
1991-92	1.6	Moderado	2005-06	-0.9	Débil
1994-95	1.2	Débil	2007-08	-1.5	Moderada
1997-98	2.4	Fuerte	2008-09	-0.8	Débil
2002-03	1.3	Moderado	2010-11	-1.5	Fuerte
2004-05	0.7	Débil	2011-12	-1.0	Moderada
2006-07	1.0	Débil			
2009-10	1.6	Moderado			
2014-16	2.5	Fuerte			

El índice atmosférico de oscilación del sur (SOI) (Figura 5) es calculado como las diferencias normalizadas entre la presión atmosférica medida en Tahití (Polinesia francesa, representa el sector central del Pacífico tropical) y Darwin (norte de Australia, representa el sector occidental) y es un indicador de las fluctuaciones de la masa atmosférica entre los sectores centro-oriental y occidental del Pacífico (Maturana *et al.*,

2004; Montealegre, 2007; NOAA, 2015). Es frecuentemente utilizado debido a que su registro comprende más de 120 años, lo que ha permitido detectar la considerable variabilidad interdecadal de los ciclos ENOS y su relación con perturbaciones sobre la circulación atmosférica global e implicaciones socioeconómicas y ambientales en casi todo el planeta.

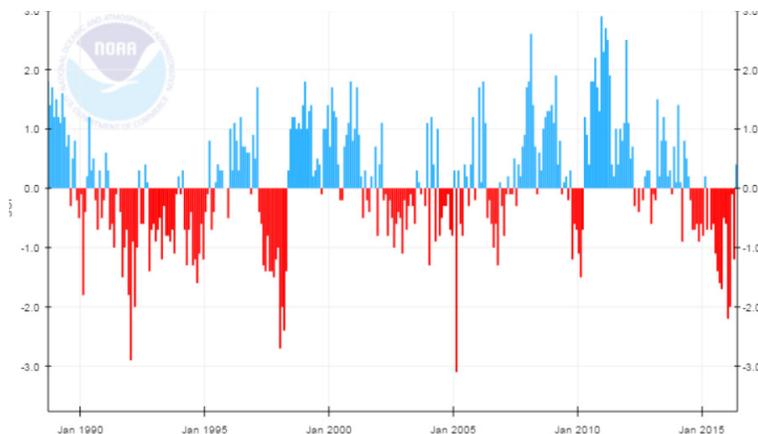


Figura 5. Índice de Oscilación del Sur (SOI) desde 1990 - 2016 (NOAA, 2016b).

Los índices de carácter mixto involucran tanto variables atmosféricas como oceánicas en su composición. Uno de los más conocidos internacionalmente es el índice MEI (Multivariate ENOS Index) (Montealegre, 2014). Adicionalmente, Colombia utiliza el índice Multivariado de Tumaco (IMT) del CCCP/Dimar desarrollado por Rodríguez-Rubio (2013) para manifestar anomalías de las condiciones locales (CCCP, 2014), el cual ha sido empleado por más de una década. Además, se han realizado 18 cruceros ERFEN lo que ha permitido el fortalecimiento del IMT y la toma de datos océano-atmosféricos para la predicción temprana del ENOS en Colombia.

Los índices atmosféricos, oceánicos y multivariados son utilizados en conjunto para desarrollar los pronósticos de acuerdo con las regiones El Niño evaluadas. Las primeras señales de un evento El Niño o La Niña emergente son observados en el océano a través de indicadores de menor escala espacio-temporal como las precipitaciones, temperatura del agua en superficie y profundidad, contenido de calor del océano, presión atmosférica, nubosidad, fuerza de los vientos Alisios y otros vientos en la atmósfera (BOM, 2016) que proveen información de las condiciones actuales ENOS y funcionan como variables de los modelos uti-

lizados para predecir las condiciones climáticas de los meses ulteriores. Información que se obtiene a partir de satélites, boyas, análisis de observaciones meteorológicas y del nivel del mar de una amplia red de sistemas de observación nacionales e internacionales. Los centros meteorológicos mundiales utilizan los datos de otros de menor categoría para complementar sus bases de datos y mejorar la precisión y cobertura de sus pronósticos.

La simulación de la evolución atmosférica se hace mediante modelos numéricos de circulación que resuelven las ecuaciones de respuesta del clima a forzamientos externos como cambios en la TSM, radiación solar, concentraciones de gases de efecto invernadero, etc., para obtener los estados futuros de la atmósfera (León-Aristizábal, 2016). Estos modelos proyectan adecuadamente las principales condiciones atmosféricas pero son imprecisos a escala regional o de áreas limitadas, *e. g.* Colombia, por lo cual para aumentar la resolución y confiabilidad de las predicciones se utilizan también modelos climáticos regionales. El IDEAM basa sus predicciones en el modelo climático global CAM y los modelos climáticos regionales CWRf y CMM5 para simular el clima y realizar las predicciones climáticas (Rojas-Ruíz, 2012;

León-Aristizábal, 2016). También, a través de técnicas estadísticas se infiere el estado futuro atmosférico utilizando las series de registros históricos observados durante al menos 30 a 35 años en una región de interés por medio del modelo estadístico de análisis de correlación canónica (ACC) cuyo pronóstico probabilístico expresa el porcentaje y la probabilidad de que acontezca la condición de precipitación o temperatura (Badii *et al.*, 2007; León-Aristizábal, 2016) sin tener en cuenta eventos extremos causados como por ejemplo aquellos asociados al ENOS que inciden de manera directa o indirecta en la dinámica atmosférica y socioeconómica del país.

### Efectos socioeconómicos de los eventos ENOS

En Colombia los eventos El Niño han generado efectos perjudiciales a lo largo de los años de incidencia en muchos sectores económicos (Bitrán-Bitrán, 1992; CAF, 1998; Caicedo, 2007; Jiménez, 2008; Meza *et al.*, 2010; MinAmbiente, 2002; Pabón y Torres, 2007; IDEAM, 2012; Ruiz y Pabón, 2013; Alonso-Másmela, 2014; Montealegre, 2014; CPPS, 2015). Se eleva la cantidad de productos importados y disminuyen los exportados (petróleo, café, carbón), causando depreciación del PIB (CAF, 1998; Caicedo, 2007; IDEAM, 2012; Pabón y Torres, 2007), asociado a mayores tasas de desempleo urbano en las principales áreas metropolitanas, pero menores por participación ciudadana en la recuperación *ex post* de un ENOS (Banco de la República de Colombia, 2015).

Indirectamente se inducen cambios en las condiciones de las aguas costeras del Pacífico, que tienen efecto apreciable en el ambiente marino, repercutiendo en la distribución de especies planctónicas y bentónicas como camarón, peces y de rutas migratorias largas como tortugas marinas y ballenas. Los corales sufren blanqueamiento debido a las altas temperaturas. Sucesión de especies también es observada (IDEAM, 2002; Jiménez, 2008) en períodos largos de sequías, migran poblaciones de aves, peces y artrópodos, algunas de las cuales no soportan los choques térmicos, reduciéndose drásticamente sus poblaciones (Jiménez, 2008). El crecimiento económico y el ingreso generado durante eventos ENOS son menores que en épocas previas a estos, afectando la producción petrolera, construcción, producción agrícola y pesquera.

A pesar de conocerse los efectos socioeconómicos que los eventos ENOS pueden generar, existen vacíos de información económica sectorial, de monitoreo y seguimiento de las condiciones climáticas en varias regiones del país, haciendo compleja la cuantificación de los costos de prevención y/o recuperación de daños debido a que implica la trazabilidad y medición de la productividad de cada sector y de los procesos administrativos locales y regionales que gestionan la disponibilidad y finalidad de los recursos económicos.

### Sectores económicos más impactados en las regiones colombianas

Muchos sectores y subsectores económicos son afectados durante un evento ENOS de acuerdo a la región del país (Tabla 2). Se afectan en mayor medida el sector Agropecuario en términos de producción agrícola, lechera y pesquera. La Salud, Agua y Energía dada la sequía que reduce notoriamente los aportes a embalses, demandando racionamientos energéticos y aumentando brotes de enfermedades. La Vivienda en los lugares susceptibles de presentar riesgos por inundaciones y deslizamientos. El Transporte dado que los volúmenes de carga transportados disminuyen junto con los caudales en canales navegables. Y el subsector Ambiente donde se juega un papel importante en sinergia con los efectos de los eventos ENOS, lo cual se observa en el aumento de incendios forestales en regiones de sequías causando deterioro y pérdida de fauna y flora en Colombia (Bitrán-Bitrán, 1992; CAF, 1998; IDEAM, 2002; MinAmbiente, 2002; Barrero-P, 2005; BID y CEPAL, 2006; Caicedo, 2007; Pabón y Torres, 2007; Jiménez, 2008; Meza *et al.*, 2010; IDEAM, 2012; Ortega-Gaucin y Velasco, 2013; Ruiz y Pabón, 2013; Alonso-Másmela, 2014; Montealegre, 2014; UNGRD, 2014; CPPS, 2015).

**Tabla 2.** Impacto socioeconómico esperado por eventos ENOS en las regiones de Colombia.

REGIONES	AMENAZA	EFEECTO	ELEMENTOS VULNERABLES	IMPACTO
Sector marino y costero del Pacífico	Aumento TSM y T sub-superficial del mar ( $\pm 2-3$ °C)	Desaparición de spp. marinas, aparición de mareas rojas y spp. poco comunes y blanqueamiento de coral	Sector pesquero. Ecosistemas marinos	Reducción en la producción pesquera y acuícola. Deterioro de ecosistemas marino-costeros
Centro y sur de la costa Pacífica	Aumento del nivel medio del mar (20-30 cm)	Inundaciones, alto oleaje y erosión hídrica costera	Infraestructura costera. Población y asentamientos humanos	Pérdida de vivienda, muebles y enseres, de cultivos en zonas bajas
Caribe y Andina	Aumento de la temperatura del aire en horas del día ( $\pm 2-3$ °C)	Oleadas de calor e incendios forestales	Asentamientos humanos. Salud humana.	Alteración de bioclima, incremento de malaria y dengue, pérdida de material vegetal
Altiplanos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño	Disminuciones de T° del aire en horas de la noche	Mayor frecuencia temperaturas mínimas absolutas (heladas)	Sector agrícola y salud humana	Enfermedades respiratorias aumentan. Reducción de la producción de flores, hortalizas, tubérculos, cereales, etc.
Caribe Andina	Aumento de la radiación solar	Aumento de radiación UV, retroceso de glaciares	Población y asentamientos humanos	Enfermedades de la piel, desabastecimiento de agua dulce
Caribe, Andina, Pacífica Norte	Reducción de los volúmenes mensuales de precipitación (20-40% o >60%)	Menor oferta hídrica, caudales y niveles de los ríos. Aumento de aguas estancadas e incendios forestales	Sector de agua potable, energético, transporte y salud. Población y asentamientos humanos. Cobertura vegetal y suelos	Contaminación por sedimentación en ríos y acueductos municipales. Aumento de malaria y dengue. Reducción de navegación fluvial y producción hidroenergética
Caribe y Andina	Reducción humedad	Alteración balance hídrico e incendios forestales	Sector agrícola. Cobertura vegetal y suelos	Baja producción agrícola. Pérdida de biomasa
Pacífica Sur, Piedemonte Llanero y Amazónico	Aumento de los volúmenes mensuales de precipitación	Inundaciones y avalanchas	Sector transporte. Población y asentamientos humanos.	Pérdida de viviendas, muebles y enseres, deterioro de la malla vial

La población más susceptible es la más precaria. Los daños económicos y poblacionales originados son de difícil cuantificación dado los racionamientos, bajas de presión en sistemas, deficiencia de cantidad, calidad y continuidad del servicio y suministros en relación con la pérdida de calidad de vida. Como consecuencia, los departamentos de Atlántico, La Guajira, Cesar, Bolívar, Boyacá, Norte de Santander, Cundinamarca y Sucre tienden a presentar mayores áreas en condiciones deficitarias (Figura 6) en términos de planeación adecuada y preparación ante los riesgos de eventos extremos (UNGRD, 2015). Por medio de la implementación de índices socioeconómicos multivariados se pueden evaluar los riesgos económicos, la vulnerabilidad social y ambiental para gestionar planes de contingencia sectoriales y regionales.

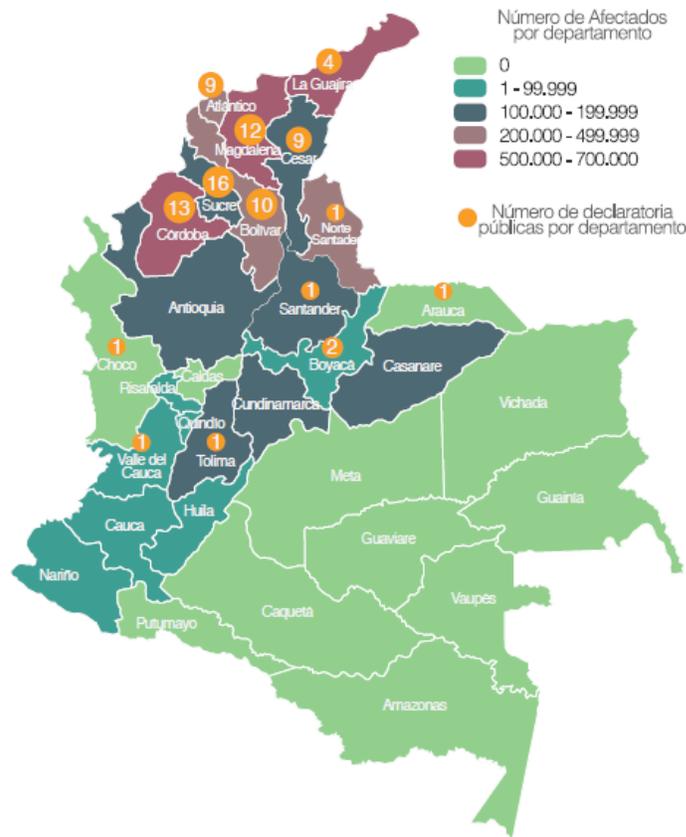


Figura 6. Número de personas afectadas en los departamentos colombianos durante El Niño 2014-2016 (UNGRD, 2015).

### Índices socioeconómicos para la gestión del riesgo de desastres

El riesgo de los desastres no depende únicamente de la posibilidad de presentarse eventos intensos, sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan el desencadenamiento de desastres cuando se presentan estos eventos (Súarez-Olave, 2003; Marulanda y Cardona, 2006; BID, 2015). La vulnerabilidad está profundamente ligada a procesos sociales desarrollados en las áreas propensas y con menor capacidad de respuesta ante emergencias — los desastres son eventos socioambientales cuya materialización es el resultado de la construcción social del riesgo— (BID, 2011, 2015). Por lo tanto, su reducción debe hacer parte de los procesos de toma de decisiones, no sólo en el caso de reconstrucción *ex post*, sino también en la formulación de políticas públicas y la planificación del desarrollo. Haciéndose necesario fortalecer el desarrollo institucional y estimular la inversión para la reducción de la vulnerabilidad con

finde contribuir a la sostenibilidad económica del país.

Con el objetivo de mejorar el entendimiento del riesgo de desastre y el desempeño de la GRD en Colombia, un sistema de indicadores transparente, representativo y robusto, de fácil comprensión por los formuladores de políticas públicas y que permiten la comparación entre países, fue desarrollado por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia por Súarez-Olave (2003), Cardona *et al.* (2004) y Marulanda y Cardona (2006) y que son utilizados actualmente (BID, 2015). El sistema tiene cuatro índices compuestos y refleja los principales elementos que representan la vulnerabilidad y el desempeño de cada país en materia de gestión del riesgo: 1) El Índice de Déficit por Desastre (IDD) refleja el riesgo macroeconómico ante eventos catastróficos en términos de capacidad financiera para hacer frente a la situación, 2) El Índice de Desastres Locales (IDL) captura la problemática de riesgo socioambiental de-

rivada de los eventos frecuentes menores que afectan los estratos socioeconómicos más frágiles, 3) El Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP) constituido por una serie de indicadores caracterizadores de las condiciones prevalecientes de vulnerabilidad de las áreas del país y 4) El Índice de Gestión de Riesgo (IGR) refleja la organización de la gestión del riesgo, su capacidad, desarrollo y acción institucional para reducir la vulnerabilidad y pérdidas. La limitación de la aplicabilidad de los índices se fundamenta en las particularidades y conflictos sociales regionales que implican la desestimación o sobrestimación de la vulnerabilidad aparente, costos y capacidad de recuperación ante eventos los ENOS.

### Medidas de acción de gestión del riesgo de desastres ante eventos ENOS

Actualmente las acciones de respuesta, mitigación y GRD inician con la ejecución “Plan Nacional de Contingencia para enfrentar el fenómeno El Niño” (Gobierno de Colombia, 2015a), enfocado en reconocer

las experiencias del pasado de los anteriores eventos similares, abordar el pronóstico establecido por las entidades técnico-científicas, los escenarios y análisis de los riesgos previstos a nivel territorial y sectorial, proponer las medidas generales que deben implementarse con inmediatez los territorios y sectores de protección financiera y proponer medidas organizativas, operativas y logísticas desde la UNGRD y los sectores, así como los recursos financieros inicialmente planteados desde el gobierno nacional para responder a nivel general (UNGRD, 2014).

El evento El Niño 2014-2016 tuvo repercusiones fuertes para el país. La inversión en acciones comprendidas desde la adquisición y ejecución de medidas de GRD (Tabla 3) se enfocaron en las problemáticas que enfrentaba el sector agua y subsector medio ambiente. Hasta noviembre de 2015 abarcaba más de 1 billón de pesos gestionado por las principales entidades nacionales que dirigen los sectores económicos (Gobierno de Colombia, 2015b).

**Tabla 3.** Medidas de acción de GRD durante el evento El Niño 2014-2016 en el sector agua y subsector medio ambiente (Gobierno de Colombia, 2015a; UNGRD, 2015).

<b>Sector Agua</b>		<b>Subsector Medio ambiente (incendios forestales)</b>	
Cantidad	Medida (adquisición)	Cantidad	Medida (adquisición)
85	Carrotaques	6	Helicópteros
142	Plantas potabilizadoras	26	Bambi buckets
6	Taladros	560	Cuñetes de líquido retardante
178	Motobombas	21990	Herramientas
2	Kit de calidad de agua	18	Piscinas
		864	Máquinas ‘amarillas’

### Desarrollo de índices meteorológicos y socioeconómicos en Colombia

Debido a la experiencia obtenida de los efectos de diferentes eventos y con base en el conocimiento sobre la variabilidad climática, el sistema socioeconómico regional ha disminuido la vulnerabilidad ante las fases extremas del ciclo ENOS. No obstante, en 2014 la NOAA manifestó que sus indicadores meteorológicos reflejan información representativa de Estados Unidos, solicitando la validación de sus reportes con la verificación de las condiciones océano-atmosféricas de cada país (Becker, 2014), creando así

incertidumbre sobre la certeza y temporalidad de las alertas “El Niño” emitidas en Colombia. El CTN-ERFEN en coordinación con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), convino desarrollar índices que describan las condiciones climáticas regionales y que simultáneamente puedan alimentar índices de riesgo socioeconómico directamente ligados al ENOS que puedan ser integrados a los planes de acción de los sectores económicos. Sin embargo, las variables socioeconómicas del país son mediciones poco dinámicas que toman referencia del censo de 2005 y debido a que los censos son menos frecuentes que el evento El Niño, esto implicaría que las mediciones

de impacto socioeconómico podrían desestimar la magnitud actual de estos eventos.

Respecto al monitoreo y predicción del evento y a su evolución, se tienen avances constantes a nivel nacional expresados a través de pronósticos más acertados y su aplicación en la gestión de los sectores económicos (Ideam, 2016a). Se dispone de sistemas de recepción de las imágenes de satélite y realización de cruceros oceanográficos que permiten observar la estructura del océano en épocas previas o durante ENOS y se tiene acceso directo a la información generada por los centros internacionales de seguimiento de las condiciones meteomarinas y modelos de las condiciones hidrológicas desarrolladas por el Ideam. Sin embargo, las redes climatológicas a lo largo del país carecen de continuidad y estandarización de datos haciendo actualmente inviable y exhaustivo el desarrollo indicadores que permitan el monitoreo constante y permanente de las afectaciones causadas por estos eventos en el país.

## CONCLUSIONES

Si bien a nivel mundial aún no se ha logrado completamente la comprensión de los orígenes y dinámicas del evento *per se*, en Colombia se han realizado aportes al conocimiento sobre las particularidades climáticas de los eventos El Niño y La Niña en el territorio y sus efectos en los sectores socioeconómicos nacionales. Este vacío del conocimiento se constituye en vulnerabilidad ya que afecta la precisión de los esquemas de predicción sobre el advenimiento del ENOS, herramientas fundamentales en la prevención del riesgo de desastres.

La comunicación interinstitucional que se ha venido desarrollando desde la creación del SNGRD, entre entidades nacionales tomadoras de decisiones, ha permitido la transmisión de información técnica y administrativa oportuna, evidenciando las mejorías de los sistemas de gestión del riesgo de desastres ante los impactos que los eventos extremos generan en el país. Además, es necesario fortalecer el monitoreo de las condiciones océano-atmosféricas fomentando su continuidad y mejorando los modelos de predicción y desarrollar a futuro los índices socioeconómicos que permitan disminuir la sobrestimación o subestimación de los efectos del ENOS en Colombia para preparar a las instituciones tomadoras de decisiones y a

la comunidad en general sobre los impactos el evento en la economía y ambiente del país.

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Colombiana del Océano la cual dentro de su convenio de prácticas profesionales permitió el desarrollo de este estudio funcionando como órgano asesor del Gobierno Nacional en los temas relacionados con la Política Nacional del Océano y Espacios Costeros y conexos al desarrollo marítimo del país. Al CTN-ERFEN, que permitió la articulación de los esfuerzos de las entidades miembros, con el fin de pronosticar y monitorear las fases del evento, así como atenuar los impactos ambientales y socioeconómicos que generan El Niño o La Niña en el territorio nacional.

## REFERENCIAS

- Alonso-Másmela, G. (2014). El fenómeno de El Niño en Colombia: caracterización y posible impacto. *Reportes Del Emisor: Investigación e Información Económica*, 182, 1-8.
- Badii, M. H., Castillo, J., Cortez, K., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *Innovaciones De Negocios*, 4, 2, 405-422.
- Banco de la República de Colombia. (2015). Boletín de indicadores económicos, noviembre de 2015. Bogotá, Colombia.
- Barrero-P, A. (2005). Análisis de la sequía histórica de 1925-1926. *Meteorología Colombiana*, 9, 87-92.
- Becker, E. (2014). Details on the October ENSO Diagnostic Discussion: Trust, but verify. Disponible en: <http://goo.gl/ObzKzR7>
- BID & CEPAL. (2006). Información para la gestión del riesgo de desastres, Colombia. Washington, Estados Unidos.
- BID. (2010). Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos, Programa para América Latina y el Caribe. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference (Vol. 1). Washington, Estados Unidos.

- BID. (2011). Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos Programa para América Latina y el Caribe, El Salvador. Washington, Estados Unidos.
- BID. (2015). Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos Programa para América Latina y el Caribe, Colombia. Washington, Estados Unidos.
- Bitrán-Bitrán, D. (1992). El impacto de los desastres naturales en el desarrollo económico. México, México: UNISDR.
- Bureau of Meteorology (BOM). (2016). The three phases of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO). Disponible en: <http://goo.gl/mxg19L>
- CAF. (1998). *El fenómeno el niño 1997-1998*. México, México: CAF.
- Caicedo, E. (2007). El fenómeno de El Niño y su posible impacto en Colombia. *Reportes del Emisor: Investigación en Información Económica*, 92, 1-4.
- Cardona, O. D., Wilches-Chaux, G., García, X., Mansilla, E., Ramírez, F., & Marulanda, M. (2004). Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: Estimación de pérdidas y cuantificación de costos. Bogotá, Colombia: Banco Mundial, ACCI (APC) & DNP.
- CCCP. (2014). Condiciones oceanográficas en el Pacífico colombiano según el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur. Disponible en: <http://goo.gl/CNKrer>
- CCO. (2011). *El océano en las ciencias naturales y sociales, espacio vital en la evolución de la humanidad y de Colombia*. Bogotá, Colombia: Dígitos y Diseños Industria Gráfica Ltda.
- CCO. (2014). Objeto y funciones de la Comisión Colombiana del Océano. CCO. Recuperado de [goo](http://goo.gl/xkG5dw). Disponible en: <http://goo.gl/xkG5dw>
- CEPAL. (1999). *Efectos macroeconómicos del fenómeno El Niño de 1997-1998. Su impacto en las economías andinas*. México, México: CEPAL.
- CEPAL. (2012). *Valoración de daños y pérdidas ola invernal en Colombia 2010-2011*. Bogotá, Colombia: BID.
- Congreso de Colombia (2012). Ley 1523 de 2012. Bogotá, Colombia.
- CPPS. (2015). Boletín de Alerta Climático (BAC). Guayaquil, Ecuador.
- CTN-ERFEN. (2015). Comunicado Nacional seguimiento del fenómeno El Niño 2014-2015, N° 11. Bogotá, Colombia.
- Dahlman, L. A. (2016). Climate variability: Oceanic Niño Index. Disponible en: <http://goo.gl/aX9zxm>.
- Dean, J. M., & Kemp, A. E. S. (2004). A 2100 year BP record of the Pacific Decadal Oscillation, El Niño Southern Oscillation and Quasi-Biennial Oscillation in marine production and fluvial input from Saanich Inlet, British Columbia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 213, 3-4, 207-229. doi:10.1016/j.palaeo.2004.05.001
- Díaz, H. F., & Markgraf, V. (eds.). (2000). *El Niño and the southern oscillation, multiscale variability and global and regional impacts*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Euscátegui, C., & Hurtado, G. (2011). Análisis del impacto del fenómeno “La Niña” 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Bogotá, Colombia.
- Gabis, I. P. (2015). The validity of long-term prediction of quasi-biennial oscillation (QBO) as a proof of the exact seasonal synchronization of the equatorial stratospheric QBO cycle. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 124, 44-58.
- Gobierno de Colombia. (2015a). Reporte de situación fenómeno El Niño, noviembre 10 de 2015. Bogotá, Colombia.
- Gobierno de Colombia. (2015b). Reporte de situación fenómeno El Niño, octubre 23 de 2015. Bogotá, Colombia.
- Hoyos, N., Escobar, J., Restrepo, J. C., Arango, A. M., & Ortiz, J. C. (2013). Impact of the 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event. *Applied Geography*, 39, 2013, 16-25.
- Hurtado, G., & González, O. (2010). Evaluación de la afectación territorial de los fenómenos El Niño/La Niña y análisis de la confiabilidad de la predicción climática basada en la presencia de un evento. Bogotá, Colombia.

- Ideam, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, CorpoGuavio, DNP. (2014). *Evolución de precipitación y temperatura durante los fenómenos el Niño y la Niña en Bogotá-Cundinamarca (1951-2012)*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Ideam. (1997). Bases para formulación del Plan Nacional de Prevención y Contingencia el fenómeno El Niño 1997-1998. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2002). Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2003). Programa Integral Multidisciplinario para el estudio sobre el fenómeno El Niño. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2012). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno "El Niño" en el período 2012-2013 en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2015). Predicción climática y alertas para planear y decidir. Bogotá, Colombia.
- Ideam. (2016a). Boletín Agroclimático. Disponible en: <http://goo.gl/LKhd6U>
- Ideam. (2016b). Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de "El Niño" y "La Niña". Disponible en: <http://goo.gl/vjN4RL>
- IRI. (2015). IRI ENSO Forecast. Disponible en: <http://goo.gl/HBqvT7>
- Jiménez, R. (2008). Aspectos biológicos de El Niño en el océano Pacífico ecuatorial. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, Centro de Biodiversidad.
- Kovats, R. S., Bouma, M. J., Hajat, S., Worrall, E., & Haines, A. (2003). El Niño and health. *Lancet*, 362(9394), 1481-1489. doi:10.1016/S0140-6736(03)14695-8
- León-Aristizábal, G. (2011). Aspectos de la circulación atmosférica de gran escala sobre el noroccidente de Suramérica asociada al ciclo ENOS 2009-2010 y sus consecuencias en el régimen de precipitación en Colombia. Bogotá, Colombia.
- León-Aristizábal, G. (2016). Variabilidad climática. Disponible en: <http://goo.gl/MOTx8g>
- Marulanda, M. C., y Cardona, O. D. (2006). *Análisis del Impacto de Desastres Menores y Moderados a Nivel Local en Colombia*. Manizales, Colombia: Pro-Vention.
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). History and description of "El Niño Southern Oscillation" phenomenon. En S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant, & E. Yáñez eds., *El Niño-La Niña 1997-2000, sus efectos en Chile* (pp. 13-27). Valparaíso, Chile: CONA.
- Meza, L., Corso, S. & Soza, S. (2010). *Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile*. Santiago, Chile: FAO.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2002). Segundo informe nacional de implementación de la convención de la Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía - UNCCD. Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Montealegre, J. E. (2007). *Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Montealegre, J. E. (2012). *Análisis de la variabilidad climática inter-anual (El Niño y La Niña) en la Región Capital, Bogotá Cundinamarca*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Montealegre, J. E. (2014). *Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Moreno, A. M., & Cardona, O. D. (2011). *Efectos de los desastres naturales sobre el crecimiento, el desempleo, la inflación y la distribución del ingreso, ERN-América Latina*. Bogotá, Colombia: ISDR, GAR.
- NOAA. (2015). El Niño. Recuperado de [elnino.noaa.gov/](http://elnino.noaa.gov/).
- NOAA. (2016a). ONI (ERSST.v3b). Disponible en: <http://goo.gl/yGWABI>
- NOAA. (2016b). Southern Oscillation Index (SOI). Disponible en: <http://goo.gl/mA1P04>

- Ortega-Gaucin, D., y Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2), 78-90.
- Pabón, J. D., & Montealegre, E. (1998). Probabilidad de Afectación de la Precipitación en Colombia por el fenómeno La Niña. *Nota Técnica IDEAM-METEO*, 008-98, 1-16.
- Pabón, J. D., & Montealegre, E. (2013). *Los fenómenos El Niño y La Niña sus anomalías climáticas e impactos*. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Pabón, J. D., & Torres, G. (2007). Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX. *Cuadernos de Geografía*, 16, 81-94.
- Pinilla, M. C., & Pinzón, C. (2012). Influencia del ciclo ENOS sobre la precipitación en los municipios de Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapatoca y Girón, departamento de Santander, Colombia. En 8o Congreso Internacional: "Cambio climático: extremos e impactos" (pp. 581-592). Salamanca, España.
- Poveda, G., Velez, J. I., Mesa, O., Hoyos, C. D., Mejía, J. F., Barco, O., & Correa, P. (2002). Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. *Meteorología Colombiana*, 6, 121-130.
- Rodríguez-Rubio, E. (2013). A multivariate climate index for the western coast of Colombia. *Advances in Geosciences*, 33, 21-26. doi:10.5194/ad-geo-33-21-2013
- Rojas-Ruíz, A. (2012). Actividades operativas y de investigación para generar predicciones climáticas mensuales mediante los sistemas de modelamiento numérico CWRF, CMM5 y CAM. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Ruiz, A., & Pabón, J. (2013). Efecto de los fenómenos de El Niño y La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico (Colombia). *Cuadernos de Geografía Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 35-54.
- Súarez-Olave, D. C. (2003). Sumario de indicadores e índices relacionados con la evaluación de la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo por eventos naturales. Manizales, Colombia: BID, CEPAL, IDEA, UNAL.
- UNGRD. (2014). *Plan Nacional de Contingencia ante el fenómeno del Niño 2014-2015*. Bogotá, Colombia.
- UNGRD. (2015). Informe técnico de avance y ejecución de Plan Nacional de Contingencia y Posible fenómeno de "El Niño" 2014-2015. Bogotá, Colombia.
- Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D., & Ordaz, M. G. (2013). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre, el caso de Bogotá, Colombia*. Bogotá, Colombia.

# MUTIS

REVISTA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO

## Instrucciones para autores

### ENVÍOS DE ARTÍCULOS

La revista *Mutis* acepta permanentemente los siguientes tipos de artículos:

1. Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación.
2. Artículo de métodos: documento que presenta la invención o estandarización de un método experimental, computacional, o educativo, entre otros.
3. Artículo de revisión (estado del arte): es una revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias, con el fin de dar cuenta sobre los avances y las tendencias de desarrollo de un campo particular de las ciencias naturales e ingeniería.
4. Comunicación corta: documento que presenta resultados parciales de una investigación en desarrollo cuya publicación sea de gran importancia.

Los trabajos que se presentan a consideración de la revista *Mutis*, se deben enviar vía correo electrónico a revista.mutis@utadeo.edu.co con copia a javier.hernandez@utadeo.edu.co y cesaro.diazb@utadeo.edu.co (Asunto: artículo revista *Mutis*) en formato de procesador de texto habilitado para modificaciones (Microsoft Word). El artículo debe estar escrito en español o inglés, con una extensión máxima de 25 páginas (incluyendo tablas, figuras y referencias), con márgenes simétricos de 2 cm, sin columnas, con títulos y subtítulos alineados a la izquierda, en letra Times New Roman, tamaño 12 y en espacio doble. Para facilitar el proceso de evaluación, se deben numerar todos los renglones del trabajo. Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

**Tipo de artículo.** El tipo de artículo (*Short communication, Research article o Review article*) debe ser colocado en mayúscula, negrilla y alineado a la derecha en la parte superior.

**Título.** El título debe representar con precisión y de manera concisa el contenido del trabajo sin exceder 15 palabras. Se debe escribir con letras tamaño de fuente 16, en minúsculas, en negrilla y alineado a la izquierda.

**Título corto.** Debe sugerirse un título corto de no más de 5 palabras que resuma el título original, el cual se colocará en las páginas impares del texto publicado.

**Autores.** Debe escribirse nombre completo de los autores, separados por comas y tamaño de fuente 12. El autor para correspondencia debe marcarse con un asterisco como superíndice al final del apellido. Cada afiliación debe estar precedido por el número que se insertó como superíndice al final del apellido de cada autor. No se deben incluir títulos académicos ni las posiciones o cargos que los autores ocupan. Las afiliaciones se deben escribir en este orden: Universidad, facultad, programa, laboratorio o grupo (si aplica), dirección, ciudad, país, \*correo electrónico del autor para correspondencia. Ejemplo:

Yvonne Sarmiento Rangel,<sup>1</sup> Ariadna Hazel Vergel<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Naturales y Ambientales. Grupo de Investigación Genética, Biología Molecular y Bioinformática – GENBIMOL, Carrera 4 N° 22-61, Bogotá D. C., Colombia. CP 011110

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Apartado 6, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba. CP 53000.  
Correo electrónico: arhazel@inivit.cu

**Resumen.** Debe tener un máximo de 250 palabras. El texto del resumen debe ir en tamaño de fuente 12 Times New Roman. El resumen debe incluir objetivo, métodos, resultados concretos de la investigación y una conclusión general.

**Palabras clave.** Deben escogerse un máximo de 5 palabras claves. Palabras diferentes incluidas en el título.

**Abstract.** Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del resumen que aparece en español. Se usa el mismo estilo ya descrito para el resumen en español.

**Keywords.** Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de las palabras clave que aparecen en español. Se usa el mismo estilo ya descrito para las palabras clave en español.

**Introducción.** Donde se habla sobre el origen de la investigación, interés y visión general del tema a tratar.

**Materiales y métodos.** No aplica para artículo de revisión. Descripción detallada de técnicas, equipos y reactivos utilizados en el desarrollo de la investigación.

**Resultados.** No aplica para artículo de revisión. Donde se hace una presentación clara de los resultados de investigación.

**Discusión.** Donde se realiza la interpretación y análisis de los resultados de investigación comparándolo con resultados previamente publicados. Pueden presentarse tablas o figuras para sintetizar los resultados. Si se han realizado análisis estadísticos se deberá describir la procedencia de los datos y el método estadístico empleado.

**Conclusiones.** Deben basarse en los resultados obtenidos y estar relacionados con la hipótesis o planteamiento del problema descrito en la introducción.

**Agradecimientos.** Los autores agradecerán de manera corta y concisa a instituciones o personas que hayan aportado de manera relevante a la investigación. Es de carácter opcional.

**Ecuaciones.** Las ecuaciones se deben escribir centradas con respecto al texto principal y se deben numerar continuamente a lo largo del texto. Cada ecuación debe estar enumerada con un número entre paréntesis ubicado en el margen derecho del texto. El significado

y las unidades deben explicarse inmediatamente después de la ecuación en que se utilicen por primera vez.

**Cantidades y unidades.** Para todas las cantidades numéricas, se debe utilizar una coma para separar los miles y un punto para indicar las cifras decimales. Se recomienda utilizar el Sistema Internacional de Unidades.

**Tablas.** Las tablas se deben numerar continuamente a lo largo del texto. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra **Tabla** (en negrilla) seguida del número arábigo consecutivo correspondiente, y de una breve descripción del contenido de la tabla. Tanto el encabezado como el contenido de la tabla se deben escribir en tamaño de fuente 10. Solo deben usarse líneas horizontales para separar las entradas de la tabla. No deben usarse líneas verticales para separar las columnas. En el caso de necesitarse algún pie de tabla, este debe estar escrito con tamaño de fuente 8. Las tablas no deben duplicar la información dada en las figuras.

**Figuras.** Las figuras (o fotografías) se deben numerar de manera consecutiva a lo largo del texto. El rótulo de cada figura debe estar en parte inferior de la figura y debe incluir la palabra **Figura** (en negrilla) seguida del número arábigo correspondiente, y de una breve descripción del contenido de la figura. El rótulo de la figura se debe escribir en tamaño de fuente 10. Las figuras deben incluirse como imágenes originales importadas o copiadas al archivo del trabajo desde una herramienta gráfica (por ejemplo, de *Microsoft Excel*) con una resolución de 300 dpi de tal manera que la legibilidad no se sacrifique cuando el tamaño de las figuras se ajuste durante el proceso de edición. No se publicará por ningún motivo información de fotografías descargadas por internet sin el permiso expreso del autor.

**Referencias bibliográficas.** Se debe utilizar a lo largo del texto el sistema de citación APA que utiliza los apellidos de autores seguidos del año de publicación entre paréntesis. La lista de las referencias se debe dar al final del documento después de la sección de Conclusiones y debe estar organizada en orden alfabético de acuerdo a la inicial del primer apellido del primer autor. En esta lista solamente se deben colocar las referencias citadas en el texto. Todas las referencias se deben escribir en tamaño de fuente 12 Times New Roman.

**EJEMPLOS:****ARTÍCULO**

Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of food Engineering*, 58(1), 33-43.

**LIBRO**

Shames, I. H., & Shames, I. H. (1982). *Mechanics of fluids* (pp. 8-36). New York: McGraw-Hill.

**CAPÍTULO DE LIBRO**

Bertucco, A. &. (2002). Micronization of a polysaccharide by a supercritical antisolvent technique. En J. &. Williams (ed), *Supercritical Fluids Methods and Protocols*. (pp. 335-412). New Jersey: Humana Press, Inc.

**DOCUMENTO DE INTERNET**

Benson, T. (Nov. 17, 2005). *Forces on a Rocket*. Consultado en octubre 2, 2008, Disponible en: <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/rktfor.html>, accesado el XX de XX de XXXX

**TESIS DE GRADO**

Yépez, B. (2009). Glicerólisis e hidrólisis de triglicéridos saturados, en dióxido de carbono supercrítico. Tesis Doctoral, Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

En caso de dudas comunicarse con los editores ([revista.mutis@utadeo.edu.co](mailto:revista.mutis@utadeo.edu.co), [cesaro.diaz@utadeo.edu.co](mailto:cesaro.diaz@utadeo.edu.co), [javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)). Estas instrucciones quedan supeditadas a los cambios que el Comité Editorial disponga.



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO

ESTA REVISTA ELECTRÓNICA  
ES EDITADA POR LA  
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
JORGE TADEO LOZANO.  
SE FINALIZÓ  
EN EL MES DE SEPTIEMBRE  
DE 2016